

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод скипового подъемника</b>

УДК 62-83:622.678

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Халбаев Алишер Муратбай угли		

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

**Инженерная школа энергетики**

**Отделение Электроэнергетики и электротехники**

**Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)**

**Профиль Электропривод и автоматика**

**УТВЕРЖДАЮ:**

**И. о. зав. кафедрой- руководителя  
ОЭЭ ИШЭ**

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**В форме:**

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

**Студенту:**

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Халбаеву Алишеру Муратбай угли

**Тема работы:**

<b>Электропривод скипового подъемника</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.03.2020г..
---	---------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		20.03.2020г..

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Халбаев Алишер Муратбай угли		20.03.2020г..

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврской работы

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

29.05.2020г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимошкин В.В.	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 133 с., 45 рисунков, 29 таблиц, 23 источник, 2 приложения.

Объектом исследования является лебёдка главного скипового подъёмника, входящая в систему верхней загрузки доменной печи.

Целью проекта является разработка электропривода главного скипового подъёмника доменной печи в соответствии с требованиями технического задания, и исследовать его работу методами численного моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, на базе цифрового тиристорного электропривода S1MOREG K 6RA 24, обеспечивающий следующие показатели качества:

- Точность остановки скипа в заданной точке;
- точность регулирования;
- надёжность электропривода.

## Содержание

1.1	Объект автоматизации. Назначение. Описание. Общий вид. Параметры.	10
1.2	Механизм. Назначение. Описание. Кинематическая схема. Параметры...	14
1.3	Технологический процесс. Описание. Параметры и характеристики.	
	Требования к электроприводу механизма и автоматизации. ....	18
1.4	Обоснование и выбор рода тока. Типа электропривода и способа регулирования координат.	
	Выбор вида автоматизации технологического процесса.....	27
2.1.	Выбор и проверка электродвигателя по максимальному моменту и нагреву	29
2.1.1	Расчёт мощности двигателей главного подъёмника.....	29
2.1.2	Проверка двигателей по нагреву .....	34
2.2.	Расчет и выбор элементов электрооборудования силовой цепи .....	50
2.2.1	Выбор электродвигателя.....	50
2.2.2	Выбор вентильного преобразователя .....	51
2.2.3	Расчёт и выбор силового трансформатора.....	54
2.2.4	Выбор токоограничивающих реакторов .....	57
2.2.5	Определение параметров фаз .....	58
2.2.6	Определение параметров эквивалентного преобразователя .....	58
2.2.7	Выбор сглаживающего дросселя .....	59
2.2.8	Расчёт параметров силовой цепи.....	60
2.3	Проверка обеспечения за данной области существования электромеханических характеристик электропривода. ....	61
2.4	Электромеханические характеристики системы преобразователь - двигатель	64
2.5	Структурная схема линеаризованной САУ .....	68
2.6	Синтез системы автоматического управления электроприводом.....	68
2.6.1	Контур тока.....	70
2.6.2	Контур скорости .....	72
2.6.3	Контур тока возбуждения.....	72
2.6.4	Контур ЭДС цепи возбуждения двигателя.....	75
2.7	Нелинейная САУ РЭП .....	79
2.7.1	Анализ основных нелинейностей электропривода.....	79
2.7.2	Структурная схема нелинейной САУ ЭП.....	80
2.7.3	Исследование электропривода на имитационных моделях.....	82
2.7.4	Расчет статических характеристик .....	86
2.8	Принципиальная электрическая схема .....	90
2.8.1	Принципиальная электрическая схема. Согласование с сетью. Интеграция в схему автоматизации технологического процесса .....	90
2.8.2	Описание. Защиты и блокировки .....	92
2.8.3	Рекомендации по настройке и эксплуатации .....	94
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	96
3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	97
3.1	Организация и планирование пусконаладочных работ .....	97
3.2	Состав бригады для проведения ПНР .....	99

3.3 Распределение объёма и времени выполнения ПНР .....	99
3.4 Расчет полных затрат на оборудование и производство работ .....	102
3.4.1 Расчет заработной платы .....	102
3.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	103
3.4.4 Накладные расходы.....	105
3.4.5 Общая стоимость затрат на проведение ПНР .....	105
3.4.6 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	105
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	108
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	109
4,1 Профессиональная социальная безопасность. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	109
4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	111
4.2. Производственная безопасность.....	111
4.2.Анализ вредных факторов.....	113
4.2.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны (в дневное время суток) ....	113
4.2.2 Повышенный уровень шума .....	114
4.2.3 Отклонение показателей микроклимата .....	116
4.2.4 Анализ опасных факторов.....	118
4.3 Экологическая безопасность.....	121
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	122
Выводы по разделу.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	126
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	129



## **Введение.**

Механизм подъема скипов – это один из элементов системы загрузки доменной печи, который предназначен для поочередного подъема двух скипов с шихтовым материалом по наклонному мосту скипового подъемника доменной печи и выгрузки их в приёмную воронку распределителя шихты.

Т.к. технологический процесс работы доменной печи является непрерывным, то к работе ее оборудования предъявляются высокие требования к качеству работы и надёжности. Поэтому на современных предприятиях электропривод системы загрузки доменной печи является гибкой автоматизированной системой, управляемой от микроконтроллера.

Преимущества электропривода, управляемого микропроцессором:

- возможность плавного ускорения от нуля до номинальной скорости в начале пути и плавного замедления в конце пути обуславливает надежность работы электропривода и точность остановки скиповой тележки при минимальном износе канатов и механической части лебедки;
- постоянство установившейся скорости, достигаемое за счет жесткой механической характеристики электропривода, позволяет обеспечить максимальную производительность подъемника;
- компактность оборудования, надежность его работы и простота обслуживания;
- точность остановки привода при достижении конечных точек (угол опрокидывания 45-50 градусов и расстояние от затворов 300-350мм);
- наличие пульта местного управления в зоне прямой видимости механизма.

Надежность лебедки повышается за счет применения двух двигателевого типа привода, так как при выходе из строя одного двигателя существует возможность работы с одним двигателем, при снижении веса материала на 30 процентов. Кроме того, маховый момент двух двигателей меньше, чем одного, имеющего суммарную мощность, что весьма важно с точки зрения снижения

времени для достижения номинальных параметров работы и уменьшения пусковых токов.

Система электропривода, рассматриваемая в данном дипломном проекте, готовится к вводу в эксплуатацию на доменной печи №2 доменного цеха АО «ЗСМК».

### **1.1 Объект автоматизации. Назначение. Описание. Общий вид. Параметры.**

Доменный цех АО «ЗСМК» является одним из основных звеньев в производстве черных металлов. Доменные печи - это современные агрегаты, высокоавтоматизированные и механизированные, позволяющие решать задачи контроля и управления загрузкой шихтовых материалов и технологическим процессом в целом, основная задача которых - выплавка чугуна. Поперечный разрез доменного цеха показан на рисунке 3.

Привозка сырья, поступающего в специализированных вагонах, осуществляется на участке шихтоподачи. Участок шихтоподачи представляет собой устройство с бункерной эстакадой. Сырье в виде офлюсованного агломерата, конверторного шлака, окатышей, кокса подается на бункерную эстакаду. С бункерной эстакады, через систему конвейеров грохотов и взвешивающих устройств, сырье попадает в доменную печь.

Механизмы, входящие в систему загрузки доменной печи, связаны общими условиями технологического процесса и должны работать согласованно. При ручном управлении потребовалось бы несколько операторов, причём из-за невозможности точно согласовать их действия имели бы место задержки в работе механизмов и неправильные операции управления. Только автоматическое управление механизмами обеспечивает высокую точность, производительность и надёжность работы комплексной системы загрузки. Огромное значение имеет также правильная шихтовка печи, что обеспечивается наиболее полно лишь при автоматической загрузке материалов.

Шихтовые материалы подаются в печь равномерно, циклически повторяющимися подачами. В состав каждой подачи входят основные материалы шихты: рудные материалы - руда, агломерат, флюсы, добавки и топливо - кокс.

Основными элементами скипового подъемника являются: два скипа, наклонный мост, система канатов с блоками, скиповая лебедка и грузоподъемное оборудование.

Скиповые тележки (рисунок 1) загружаются коксом, или железорудными материалами, а разгружаются в приемную воронку загрузочного устройства печи. Для полной выгрузки материала из скипа угол наклона его днища к горизонту в верхнем положении должен составлять 45-50 °.

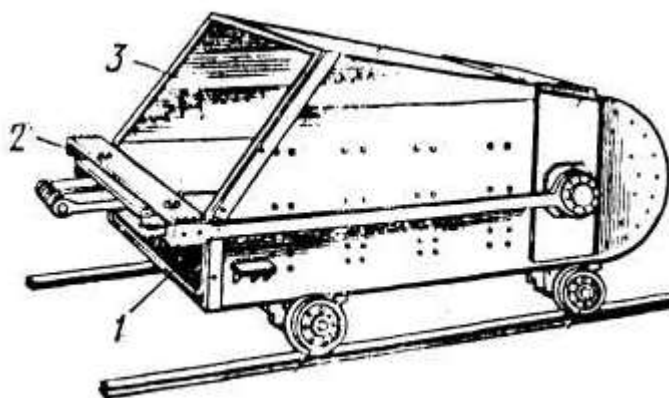
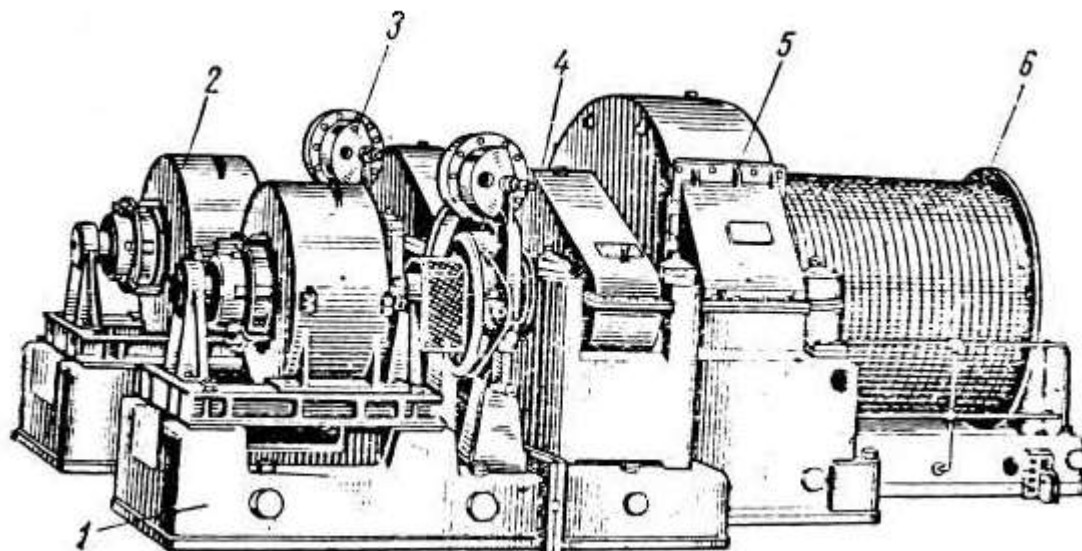


Рисунок 1 – Скиповая тележка: 1 - тяговое устройство, 2 - траверса с балансирным устройством, 3 - совок

Для перемещения по наклонному мосту скипы соединяют канатами с барабаном скиповой лебедки, таким образом, что обеспечивается уравнивание скипов. Для исключения аварий, при обрыве одного из канатов и блоков, скип поднимают на двух канатах.

Скиповая лебедка (рисунок 2) установлена в помещении под наклонным мостом, называемое машинный зал. Узлы смонтированы на чугунной станине. Станина для удобства изготовления и транспортировки состоит из нескольких частей, зафиксированных шпонками и скрепленных болтами.



*Рисунок 2 – Скиповая лебедка: 1 — станина, 2 — электродвигатель, 3 — тормоз, 4 — привод, 5 — зубчатое колесо с кожухом, 6 — барабан*

К помещению машинного зала примыкает ПСУ (помещение системы управления) загрузки, где располагаются панели автоматического управления системой загрузки доменной печи.

Лебедка работает в повторно-кратковременном режиме и состоит из двух электродвигателей постоянного тока, соединительных зубчатых муфт, тормозов, общего редуктора, барабана и зубчатой передачи. Установка двух электродвигателей, помимо увеличения надежности, позволяет снизить маховый момент и момент инерции системы.

Управление лебедкой осуществляется в автоматическом режиме комбинацией групп сигналов АСУ ТП, посредством двух последовательно соединенных, в электрической схеме, командоаппаратов,, а так же с пульта местного управления машинистом шихтоподачи, при технологической необходимости. Останавливается лебедка при слабине или обрыве одного из канатов, выключателями слабины канатов, которые установлены по обе стороны барабана, а также при переходе скипа за предел, при помощи командоаппарата.

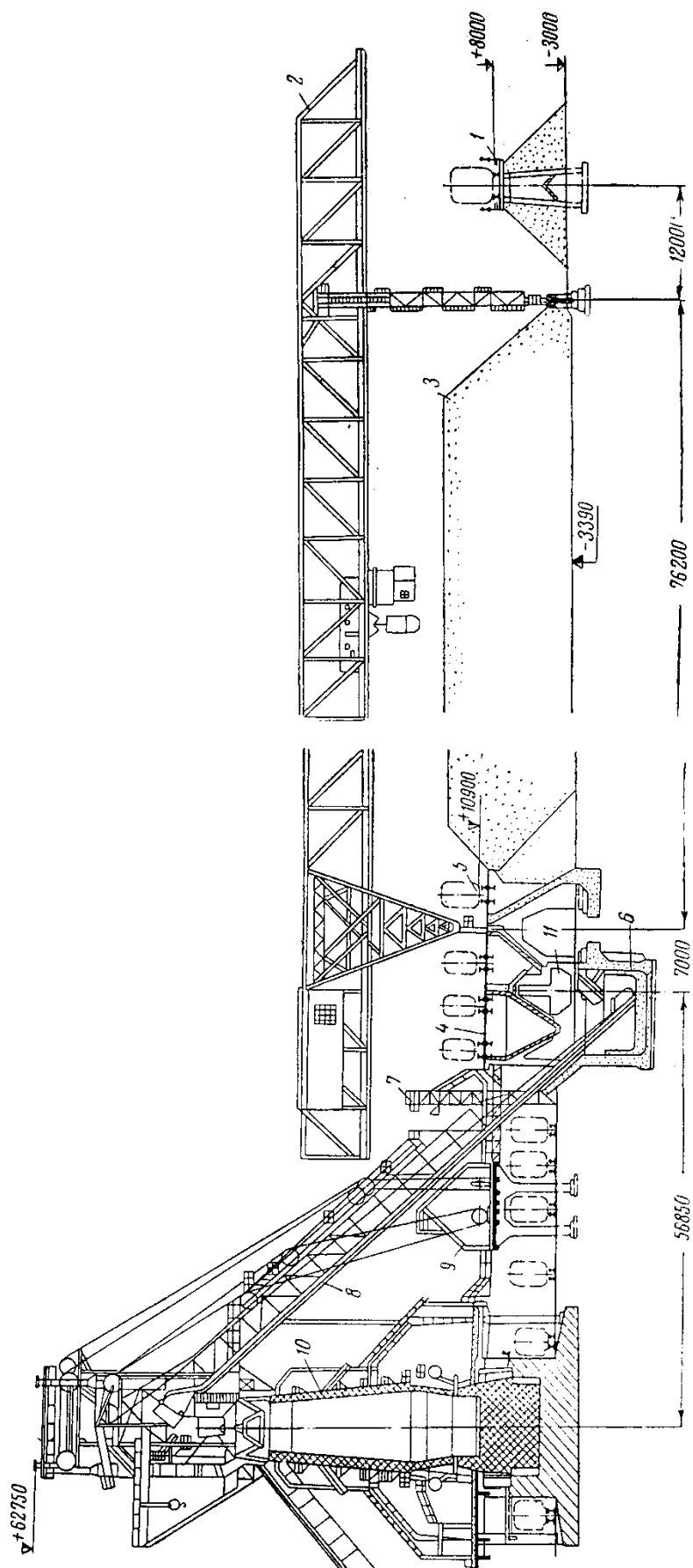


Рис. 2. Поперечный разрез доменного цеха:

1 — разгрузочная эстакада; 2 — перегружатель; 3 — штабель руды; 4 — бункерная эстакада; 5 — консольный разгрузочный путь; 6 — скиповая яма; 7 — подъемник коксовой мелочи; 8 — ковшниковый подъемник; 9 — машинное здание; 10 — доменная печь; 11 — вагон-весы

## **1.2 Механизм. Назначение. Описание. Кинематическая схема.**

### **Параметры.**

Сырые материалы (шихта), подлежащие загрузке в печь, подаются в скиповую яму, соединённую наклонным мостом с засыпным устройством колошника печи. По наклонному мосту уложен двойной рельсовый путь, по которому движутся вверх и вниз скипы с помощью лебёдки, находящейся в машинном помещении. От лебёдки через специальные направляющие шкивы идут две ветви двойных тросов к обоим скипам.

Тросы навиты на барабан таким образом, что одна пара тросов опускающегося вниз пустого скипа разматывается, а другая пара поднимающегося вверх груженого скипа наматывается на одну и ту же двухходовую нарезку барабана лебёдки. Когда из одного скипа, находящегося на колошнике, разгружаются материалы в печь, второй оказывается внизу в скиповой яме под погрузкой очередной порции шихты.

Наклонный мост с двойным рельсовым путём для скипов можно разбить условно на три скоростных участка:

1. нижний - в скиповой яме с большим углом наклона для лучшего заполнения скипов шихтой, высыпаемой из промежуточных или весовых воронок;

2. средний - основной, с меньшим углом, длина его определяется высотой печи и удалённостью от нее скиповой ямы;

3. верхний - дефлекторный, служащий для разгрузки скипов в приёмную воронку колошника печи.

Разгрузочное устройство верхней части моста состоит из дополнительного рельсового пути с более широкой колеей, уходящей вверх от основных направляющих. Благодаря этому при подходе скипа к разгрузке его

передние скаты продолжают катиться по основному, а задние скаты уходят по дополнительному верхнему пути. При этом скип опрокидывается, и материалы высыпаются в приёмную воронку, расположенную над распределительным устройством засыпного аппарата доменной печи. Для главных скиповых подъёмников применяют двухдвигательные скиповые лебёдки.

Режим работы лебёдки реверсивный. Как и для всякого подъёмника и механизма, график движения и, а,  $L = f(t)$  должен быть рассмотрен для трёх участков: ускорения, равномерного движения и торможения. При этом учитываем следующие характерные особенности работы скиповой лебёдки. Возвращение пустого скипа из опрокинутого положения на прямолинейный участок пути осуществляется за счёт его собственного веса, поэтому скорость канатов и лебёдки должна соответствовать скорости опускания скипа. В противном случае, при большей скорости лебёдки, возможно ослабление сматывающейся ветви канатов и последующие нежелательные толчки, способные опрокинуть скип или оборвать канаты. Скорость при выходе с разгрузочного участка практически составляет 1.5-2.5 м/сек. При подходе гружёного скипа к разгрузочному криволинейному участку пути скорость должна быть снижена до 1-1.5 м/сек. При этом происходит отключение двигателя с наложением механических тормозов и фиксированная остановка лебёдки в крайнем положении разгружаемого скипа. Кривые скорости, ускорения и пути движения скипа по наклонному мосту приведены на рисунке 4.

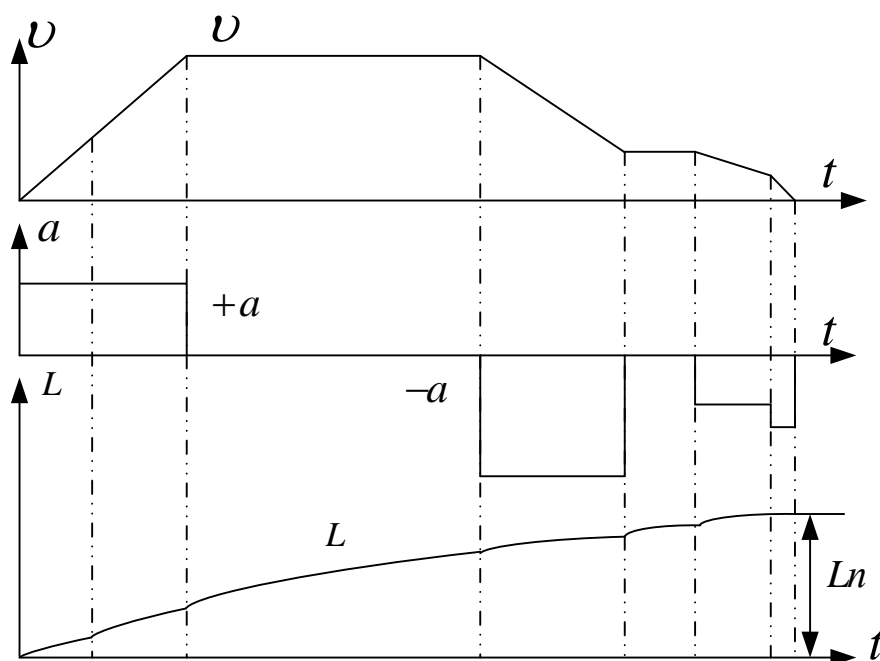


Рисунок 2 - Кривые скорости, ускорения и пути движения скипа

Параметры лебёдки скипов доменной печи типа ЛС1-22,5-210, приведены в таблице 1

Таблица 1

№	Параметр	Значение
1	Геометрическая ёмкость скипа $Q_c$ , м	10
2	Вес пустого скипа $G_c$ , кг	8400
3	Диаметр катка скипа $D_c$ , мм	500
4	Диаметр цапфы катка $D_n$ , мм	140
5	Диаметр каната $D_k$ , мм	43,5
6	Вес погонного метра каната $g_{ккг}$	-16
7	Длина пути по канату, м: а) в скиповой яме $L_c$ , м б) на мосту $L_m$ , м в) на разгрузочном участке $L_p$ , м	7 83 -5
8	Допустимая вытяжка канатов, мм	до 100
9	Допустимое расстояние от низа скипа до пола скиповой	200
10	Точность останова барабана лебёдки, мм	+25
11	Ширина колеи основного пути, мм	1454
12	Ширина колеи на разгрузочном участке, мм	1700
13	Угол наклона рельсового пути в яме $\alpha_i$	60°
14	Диаметр направляющего шкива $D_m$ , мм	2000





### **1.3 Технологический процесс. Описание. Параметры и характеристики. Требования к электроприводу механизма и автоматизации.**

Непрерывный характер работы доменной печи, повышение температуры горячего дутья, обогащение его топливными компонентами и кислородом и ряд других мероприятий, повышающих рост выплавки чугуна, а так же потребность в шихтовых материалах, предъявляют высокие требования к приводу главного подъёма доменной печи. Но, несмотря на это привод главного подъёма является лишь одним из звеньев технологической цепи системы загрузки шихты в доменную печь, и работает согласно запретам и разрешениям (технологическим блокировкам) из системы верхней и нижней системы загрузки.

Процесс металлургического передела чугуна в доменном цехе начинается с нижней системы загрузки, в которую входят: конвейерная ПТС (поточно-транспортная система) подачи агломерата, кокса и материалов добавок от близлежащих производств, таких, как аглофабрика и коксохимическое производство; системы бункеров, предназначенных для накопления материала; система вибрационных грохотов, предназначенных для отсева мелких фракций шихты перед её подачей в доменную печь (шихта на грохот подаётся через шибер, расположенный в нижней части накопительного бункера; каждому бункеру соответствует свой грохот); конвейерная ПТС возврата мелкой фракции агломерата и кокса на аглофабрику для переработки; система затворов и весовых воронок, предназначенная для подачи шихты в скип с предварительным взвешиванием загружаемого материала.

Верхняя система загрузки доменной печи состоит из следующих механизмов:

- механизм главного подъёма - предназначен для транспортировки материала к засыпному аппарату доменной печи;

- засыпной аппарат - состоит из малого и большого конуса (основное назначение - создание уравнительной зоны давления), а так же вращающегося распределителя шихты (ВРШ), который находится над малым конусом (его основная задача - перемещение засыпаемой шихты по окружности печи в определённое место);

- газовые клапана - предназначены для создания давления в межконусном пространстве перед загрузкой материала в печь с большого конуса;

- лебёдка зондов - осуществляет контроль хода доменной печи, а так же контроль уровня засыпи доменной печи.

Материал (шихта), необходимый для получения чугуна подаётся в доменный цех через ПТС аглоизвесткового и коксохимического производства в помещение бункеров, где производится распределение материала по группам бункеров (кокс и агломерат). Затем через нижнюю часть бункера материал проходит этап грохочения, т.е. отсеивания мелкой фракции, которая затем через ПТС возврата подаётся на аглоизвестковое производство, где используется для спекания агломерационных “пирогов”, а крупная фракция с грохотов подаётся на общий конвейер (коксовый и агломерационный) и загружается в воронко-весы.

После набора дозы (веса материала, установленного требованиями технологического процесса и грузоподъёмностью скипа) сгружается в скип. Во время загрузки скипа, которая осуществляется затвором, расположенным в нижней части воронко-весов, конвейера агломерата или кокса, а соответственно и система грохотов находится в режиме ожидания. После выдачи сигнала о том, что скип загружен и все затворы закрыты грохота и конвейера вновь начинают работать.

Для разрешения движения скипа вверх требуется выполнение следующих условий:

- 1.наличие фиксации закрытого положения малого конуса;
- 2.наличие фиксации закрытого положения всех затворов;

3.отсутствие вращения ВРШ;

4.отсутствие запрета на работу по инициативе технологического персонала.

После выполнения выше перечисленных условий скип начинает движение вверх к засыпному аппарату. По прибытии на лекальную часть наклонного моста скип наклоняется и высыпает материал на малый конус, после чего идёт вниз за следующей порцией материала. В это время второй скип, находящийся внизу и уже загруженный (скиповая лебёдка построена на принципе уравновешенной двухмассовой системе) начинает движение наверх. Далее по технологической цепочке должен отработать малый конус, для чего следует выполнить следующие условия:

- давление в межконусном пространстве должно быть выровнено до атмосферного;
- на конусе должно находиться определённое количество материала (1-2 скипа);
- на большом конусе должно находиться количество материала меньше, чем требуется для загрузки в печь;
- нет запрета на работу конуса от технологического персонала.

После выполнения выше перечисленных условий малый конус опускается и материал, находящийся на малом конусе ссыпается на большой конус. Далее для загрузки материала в печь необходимо опустить большой конус, на котором к тому моменту должна находиться определённая сумма материала. Если сумма набрана, начинается процесс выравнивания давления в межконусном пространстве с давлением в печи. Выравнивание давление осуществляется уравнительными клапанами, которые делятся на выхлопные и наполняющие. Для повышения давления в межконусном пространстве выхлопные клапана закрываются, а наполняющие открываются и соединяют линию ПВС высокого давления с межконусным пространством. Давление в межконусном пространстве контролируется датчиками КИП. При достижении

давлением установленной величины наполняющие клапана закрываются, и большой конус сбрасывает материал в печь.

Для обеспечения равномерного распределения шихты по радиусу печи предусмотрен ВРШ, который распределяет материал на малом конусе так, что он оказывается именно с той стороны, с которой на данный момент требуется максимальное количество материала для регулирования газопотока через шихту в печи

#### **1.4 Обоснование и выбор рода тока. Типа электропривода и способа регулирования координат. Выбор вида автоматизации технологического процесса.**

Исходя из технологических требований к приводу скиповой лебёдки, таких, как точность поддержания скорости и остановки скипа в заданном положении, приходим к выводу, что наиболее простым в управлении для данного привода является двигатель постоянного тока, управляемый тиристорным преобразователем. Привод, реализованный по системе ТП-Д, является наиболее быстродействующим, устойчивым к внешним возмущениям и обладающим наибольшей точностью поддержания заданных параметров.

Проведём сравнительный анализ систем, использующихся для питания двигателя постоянного тока. Для питания электродвигателя в регулируемом электроприводе постоянного тока применяются следующие системы преобразовательных устройств:

- генератор - двигатель (Г - Д);
- электромашинный усилитель - двигатель (ЭМУ - Д);
- транзисторный преобразователь - двигатель (ТрП - Д);
- тиристорный преобразователь - двигатель (ТП - Д).

Система Г - Д характеризуется своей простотой, малым влиянием на питающую сеть. К недостаткам данного устройства следует отнести большую

установленную мощность электрических машин, большое количество коммутирующих аппаратов, шумность системы, невысокий КПД ( $\text{КПД} = 0,86$ ), инерционность системы регулирования.

Система ЭМУ - Д отличается высоким быстродействием, имеет высокий коэффициент усиления по мощности  $K_u = 10000$ . Недостатками являются наличие двух обмоток управления, характеристики усилителя нестабильны, требуется приводной двигатель.

Система ТрП - Д позволяет реализовать полностью управляемый привод, имеет высокий КПД ( $\text{КПД} = 0,96$ ). К недостаткам можно отнести малую мощность систем, сложность в управлении.

Система ТП - Д обладает множеством достоинств:

- большая жёсткость электромеханических характеристик;
- достаточно высокий КПД ( $\text{КПД} = 0,9$ );
- бесшумность в работе;
- простота в обслуживании и эксплуатации.

Следует отметить, что наряду со значительными преимуществами система обладает и рядом недостатков. Преобразователь имеет одностороннюю проводимость, то есть необходимо для реверсирования двигателя применять два комплекта вентилях; работа управляемого выпрямителя характеризуется режимом прерывистого тока, при котором резко падает жёсткость характеристик; система имеет малую перегрузочную способность по току и напряжению.

Несмотря на отмеченные недостатки, система ТП - Д является в настоящее время основной и наиболее эффективной системой управления.

На основании приведённого сравнительного анализа выбираем систему тиристорный преобразователь - двигатель, как наиболее удовлетворяющую требованиям технологического процесса.

Развитие микропроцессорной техники способствовало появлению цифровых систем управления. Главными причинами применения цифровых систем управления электроприводом были массовый переход от частичной к комплексной автоматизации производства и развития автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) при высокой статической точности регулирования. Характерными особенностями управляющих микро-ЭВМ являются: наличие специальной периферии, обеспечивающей сбор информации о переменных состояния объекта с жёсткой привязкой времени; выдача в реальном времени оперативной информации (сигналов управления) соответственно темпу протекания динамических процессов в управляемом объекте.

Новым применением микропроцессорной техники в электроприводе стало использование её для прямого цифрового управления, то есть организации сигналов управления с помощью микро-ЭВМ с выдачей управляющих импульсов на тиристоры.

Система строится применительно к одному или нескольким процессам, требующим управления. Даже у относительно простых процессов приходится контролировать, поддерживать в заданных пределах или обеспечивать изменение по заданному закону целой группы параметров.

Значение каждого параметра определяется в результате измерения. Независимо от формы представления результаты измерений по каналам связи передаются к микроконтроллеру.

Микроконтроллер - это устройство обработки информации, ориентированное на совместную работу с некоторой искусственной системой.

Преимущества, достигаемые при использовании микропроцессорных систем управления - это замена электронных, электрических и электромеханических блоков с жёсткой, фиксированной логикой работы,

универсальным устройством, программированием которого определяют различные алгоритмы работы электропривода и обслуживаемой им машины. При этом достигается высокий уровень стандартизации и унификации инженерных решений.

Гибкость и универсальность алгоритмов и простота ввода и вывода сигналов в микро-ЭВМ позволяет разработать локальные микропроцессорные системы управления электроприводами, обеспечивающие простоту сопряжения с устройствами верхнего уровня АСУ ТП и связанное управление многодвигательным приводом или несколькими агрегатами.

Высокая надёжность микропроцессорных систем обеспечивается применением больших интегральных схем (БИС), наличием специальных систем защиты памяти, помехозащищённостью и другими средствами. Возможность выполнения автодиагностики состояния электропривода и технологического агрегата в процессе работы электропривода и функций защиты повышают надёжность работы всего управляемого комплекса.

Микропроцессорные системы позволяют путём введения соответствующих программ реализовать сложные законы управления, в том числе и такие, которые затруднительно или практически невозможно осуществить с помощью аналоговых средств. Микропроцессорные системы снижают затраты и сроки проведения наладочных работ и изменяют их характер, поскольку необходимые эксперименты по определению характеристик и параметров, а также настройка регуляторов может быть произведена автоматически самой микро-ЭВМ по заранее подготовленной программе. Облегчается также анализ аварийных режимов, переходных процессов, которые без потери информации могут быть зарегистрированы в памяти микро-ЭВМ.

Вышеперечисленными свойствами обладает цифровой электропривод



SIMOREG К серии 6RA24 производства германской фирмы SIEMENS. Устройства преобразования тока “К” SIMOREG 6RA24 - полностью цифровые, компактные устройства, предназначенные для трёхфазного тока, служащие для регулируемой подачи электроэнергии на якорные и полевые схемы приводов постоянного тока с регулируемым числом оборотов вращения двигателя. Приборы, благодаря устройству параметризации не требуют дополнительных приборов программирования или измерения. Эффективный 16-битный микропроцессор принимает на себя выполнение всех функций управления и регулирования координат якорной цепи и цепи возбуждения. Функции регулирования в качестве программных модулей реализованы в программах, которые взаимосвязаны через параметры.

Устройства SIMOREG могут параметрироваться посредством электронного табло, расположенного в электронном модуле. Ввод данных производится тремя кнопками, находящимися там же. Так же возможна параметризация устройства через последовательный интерфейс RS232 с помощью стандартного персонального компьютера и программного обеспечения SIMOVIS.

Номинальный ток преобразователей может меняться в пределах от 15 до 1200А. В случае преобразователей на номинальные токи от 640 до 1200А силовая часть выполнена из 6 блоков SITOR, располагающихся в основном конструктиве выдвижного типа. Основной конструктив состоит из рамы с изоляционными частями и шинпроводами для размещения шести блоков SITOR. Силовые выводы комплекта SITOR располагаются на обратной стороне. Преобразователи допускают 1.5-кратное превышение тока, причём продолжительность перегрузки зависит от специфики преобразователя.

Схема выпрямления - мостовая, с встречно-параллельным включением групп вентиляей.

### **Современная система верхней загрузки**

Техническая структура автоматической системы загрузки доменной печи приведена на рисунке 1.3. в её состав входят следующие подсистемы:

- подсистема верхней загрузки;
- подсистема нижней загрузки:  
подсистема «КАУПЕР», управляющая работой воздухонагревателей
- доменной печи;  
подсистема «КИП», предназначенная для контроля параметров технологического процесса с помощью измерительных приборов

Перечисленные подсистемы построены на основе контроллеров повышенной надёжности фирмы SIEMENS типа SIMATIC. К конструктивной особенности контроллеров этой фирмы можно отнести то, что он состоит из двух связанных между собой резервированных подсистем, работающих по принципу «мастер - помощник», в которых реализован горячий резерв. Обе они идентичны и имеют одинаковую программу пользователя. Оба ЦПУ выполняют расширенное самотестирование и синхронизацию. Одно из устройств - мастер - управляет процессом. Если возникает сбой, другое устройство - помощник - принимает управление на себя. Подобное построение даёт ряд преимуществ:

- автоматическая передача данных и сигналов между главным и резервным ЦПУ - синхронизация по событиям;
- мгновенное переключение на резервный ЦПУ без потерь данных;
- расширенная системная диагностика, уменьшающая время ремонта;
- простое программирование, как для обычного контроллера при помощи стандартного пакета STEP7.

Подсистемы, входящие в состав автоматической системы загрузки, связаны между собой шиной SINEC. Через эту же шину осуществляется связь с другими системами. Подсистема управления верхней загрузкой

предназначена для контроля и управления технологическим процессом загрузки шихты в доменную печь. Подсистема управления верхней загрузкой воздействует на механизмы загрузки следующим образом:

- управляет скиповым подъёмником, подсистемой пылеподавления, лебёдкой конусов, наполняющими и выхлопными клапанами межконусного пространства, лебёдкой зондов;
- • следит за последовательностью обрабатываемых операции (синхронизация работы механизмов)
- осуществляет взаимные блокировки между работой механизмов верхней загрузки;

при возникновении внештатной ситуации подсистема генерирует предупреждающее сообщение, возлагая на оператора-технолога функцию принятия решения (в отдельных случаях сама принимает решение и производит его обработку с последующей выдачей сообщения)

### **1.5 Разработка технического задания.**

Разработать систему электропривода лебёдки управления скиповым подъёмом доменной печи, удовлетворяющую следующим требованиям:

*Требования к структуре и функционированию системы электропривода*

Электропривод лебёдки управления скиповым подъёмом доменной печи создаётся как эффективная и гибкая система, управляемая микроконтроллером. Такое построение должно обеспечить:

- качественное управление объектом;
- необходимую взаимосвязь в процессе работы используемого технологического оборудования;

- упрощение обмена информацией между системой электропривода и управляющими подсистемами автоматической системы управления верхней загрузки;
- повышение надёжности функционирования системы в целом.

#### *Требования к основным техническим параметрам электропривода*

- преобразователь реверсивный;
  - сигналы управления - цифровой код;
  - диапазон регулирования  $D = 1000$ ;
- точность остановки скипа в заданной точке  $\pm 25$  мм.

#### *Требования к питающей сети*

Питание электропривода осуществляется от отдельного ввода сети напряжением ЮкВ через преобразующий трансформатор 10/0.4 и частотой переменного тока 50Гц.

#### *Требования к надёжности.*

Бесперебойная работа ЭП должна обеспечиваться за счёт высокой надёжности аппаратных и программных средств, а так же квалификации обслуживающего персонала. Гарантийный срок - 1 год. Срок службы электропривода не менее 10 лет.

#### *Требования безопасности.*

Требования по безопасности использования системы электропривода должны соответствовать существующим нормам и правилам.

Все элементы аппаратуры электропривода, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного прикосновения, а приборы должны иметь зануление или заземление в соответствии с ПУЭ.

Уровень воздушного шума при работе системы не должен превышать

#### *Требования к защите от влияния внешних воздействий.*

По защищённости от проникновения пыли и влаги технические средства электропривода должны соответствовать исполнению IP55.

По устойчивости к внешним вибрационным воздействиям аппаратура электропривода должна соответствовать исполнению L3.

Аппаратура электропривода должна быть работоспособной в помещении с температурой от - 10 до + 45 °С и относительной влажностью воздуха от 40 до 80% при температуре + 25 °С, давлением от 630 до 800 мм.рт.ст (84 ... 107 кПа).

#### *Требования к системе защиты.*

Устройство электропривода должно предусматривать следующие виды защит и блокировок: • максимально-токовую защиту цепей управления и силовых цепей

- интегрально-токовую защиту;
- защиту от короткого замыкания цепей управления и силовых цепей;
- защиту от понижения напряжения сети, обрыва фаз и самозапуска электропривода;
- защита от обрыва цепи возбуждения электродвигателя;
- защита от обрыва цепи катушки мех. тормоза;
- защита от превышения допустимой скорости движения скипа

## **2.1.Выбор и проверка электродвигателя по максимальному моменту и нагреву.**

### **2.1.1 Расчёт мощности двигателей главного подъёмника**

Расчёт ведётся по [4, стр. 194] в принятых в ней единицах измерения физических величин.

Мощность двигателей рассчитаем путём определения момента вращения на валу барабана лебёдки с последующей проверкой двигателей по условиям нагрева. Так как момент на валу барабана есть произведение силы натяжения каната на радиус барабана, который представляет постоянную величину, то все

последующие расчёты выполнены для определения натяжения канатов. При подъёме груженого скипа натяжение наматывающейся ветви создаётся весом скипа и груза, а также весом самих канатов. Натяжение сматывающейся ветви определяется весом пустого скипа и канатов. Результирующее окружное усилие на ободе барабана в любой момент времени определяется разностью этих натяжений.

Для упрощения расчётов принимаем следующие допущения:

- на всём участке пути до разгрузочной кривой веса скипов и канатов обеих ветвей взаимно уравновешены;
- на разгрузочном участке результирующее натяжение изменяется по закону прямой от величины, определяемой весом груза в скипе  $G_r$  в начале участка, до нуля в конце этого участка;

потери в кинематической цепи барабан - скипы, определяемые силами трения в подшипниках скатов и направляющих шкивов, а также жёсткостью канатов при перегибах на шкивах и барабане, учитываются, как 5% от веса движущихся частей, т.е:

$$F_0 = 0.05 \cdot (G_k + 2 \cdot G_c + G_r) = 0,05 \cdot (11140 + 2 \cdot 8400 + 22500) = 2522 \text{ кГ}$$

Где  $G_k = gk \cdot Lk = 16 \cdot 696.265 = 11140 \text{ кг}$  - суммарный вес канатов

$gk = 16 \text{ кг}$  - вес погонного метра каната;

$$L_k = 4 \cdot (1.7 \cdot L_n + 2 \cdot \pi \cdot Dб) = 4 \cdot (1,7 \cdot 95 + 2 \cdot 3,14 \cdot 2) = 696,265 \text{ -общая длина}$$

каната

$L_n$ - полезная длина канатов [см.табл. 1];

$Dб$ - диаметр барабана [см.табл. 1];

$G_c = 8400 \text{ кг}$  - вес пустого скипа, кг;

$G_r = 22500 \text{ кг}$  - вес груза, кг.

- принимается, что нижние ветви канатов параллельны наклонному пути

скипа.

Исходные данные для расчёта мощности двигателей приведены в таблице 1.

Максимальное окружное усилие  $F_{\text{макс}}$  на ободе барабана лебёдки потребуется при подъёме аварийного груза  $G_{\text{гм}}$  на участке пути в скиповой

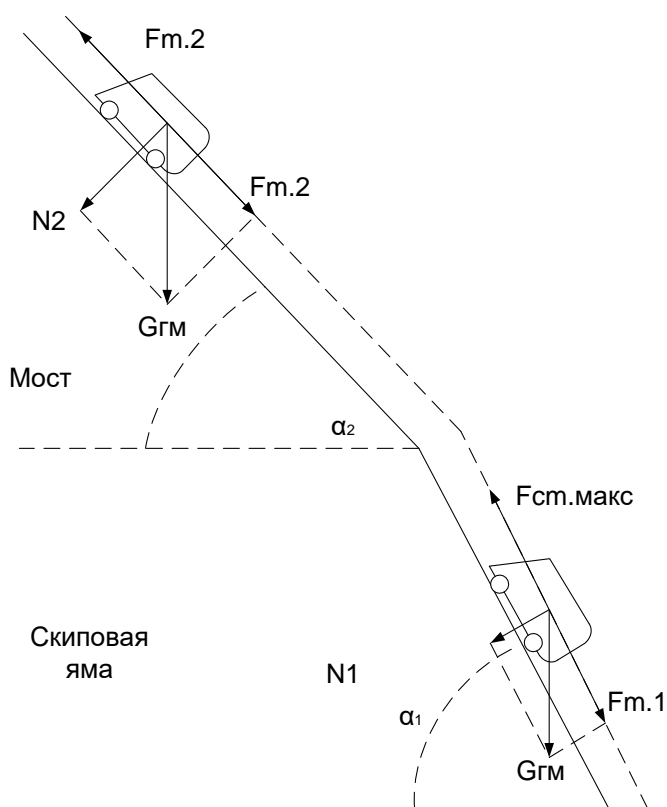


Рисунок 4 - Расчётная схема движения скипа

яме, где статическая составляющая усилия имеет наибольшее значение.

Для решения основного уравнения движения:

$F_{\text{макс}} = F_{\text{Ст.макс}} + P_{\text{дин.макс}}$  необходимо найти составляющие  $F_{\text{Ст.макс}}$  и  $F_{\text{дин.макс}}$ .

Максимальное статическое усилие  $F_{\text{Ст.макс}}$  определяем, пользуясь расчётной схемой рисунка 4.

Вес максимального груза  $G_{г.макс}$  можно разложить на две составляющие параллельную пути.

(действующую по канату) силу сопротивления движению  $F_{мл}$  и нормальную  $N_1$ , прижимающую скип к пути и создающую потери на трение в подшипниках скатов. Тогда:

$$F_{мл} = G_{г.макс} \cdot \sin(\alpha) = 25000 \cdot \sin(60^\circ) = 21650 \text{ кГ}.$$

и

$$N_1 = G_{г.макс} \cdot \cos(\alpha) = 25000 \cdot \cos(60^\circ) = 12500 \text{ кГ}.$$

Максимальное статическое усилие на ободе барабана:

$$F_{-ст.макс} = F_{мл} + F_0 = 21650 + 2522 = 24172 \text{ кГ}.$$

Максимальное динамическое усилие на ободе барабана;

$$P_{д.макс} = \sum m \cdot a_{макс}, (1)$$

где:  $\sum m$  - сумма приведённых к канату движущихся масс;  $a_{макс} = 0,35 \text{ м/сек}^2$  - ускорение;

Так как известна суммарная маховая масса механизма и двух двигателей:  $\sum GD^2_6 = 39000 \text{ кГм}^2$  - суммарный маховый момент барабана (на собственном валу);

$\sum GD^2_m = 30000 \text{ кГм}^2$  - суммарный маховый момент шести шкивов (на собственном валу);

$\sum GD^2_3 = 2200 \text{ кГм}^2$  - суммарный маховый момент зубчатых колёс редуктора (на промежуточном валу);

$\sum GD^2 = 700 \text{ кГм}^2$  - суммарный маховый момент двух двигателей и тормозных шкивов (на валу двигателей).

Найдём суммарное значение приведённых к канату инерционных масс. Для этого найдём сумму приведённых к канату масс барабана, редуктора, шести шкивов и двух двигателей:



$$\Sigma m_1 = \frac{GD_{\delta}^2 + GD_m^2 + GD_3^2 + i_2^2 + GD_{\delta}^2 \cdot i^2}{g \cdot D\delta^2} =$$

$$= \frac{39000 + 30000 + 2200 \cdot 5,6^2 + 700 \cdot 18,6^2}{9,8 \cdot 2^2} = 6998 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

где  $g = 9.8 \text{ м/сек}^2$  - ускорение свободного падения;

$D\delta$ - диаметр барабана [см.табл. 1 ]

Так же найдём приведённые массы всех поступательно движущихся частей механизма:

$$m_n = \frac{G_k + 2 \cdot G_c + G_{г.макс}}{g} = \frac{11140 + 2 \cdot 8400 + 25000}{9,8} = 5402 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

тогда суммарное значение приведённых к канату инерционных масс определим из следующего выражения:

$$\Sigma m = \Sigma m_1 + m_n = 9698 + 5402 = 15100 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Максимальное динамическое усилие на ободе барабана определим из формулы (1):

$$F_{д.макс} = 15100 \cdot 0,35 = 5285 \text{ кГ}$$

Максимальное окружное усилие на ободе барабана определим из выражения:

$$F_{д.макс} = F_{ст.макс} + F_{д.макс} = 24172 + 5285 = 29457 \text{ кГ}$$

Найдём номинальную мощность двигателя (по максимальному перегрузочному моменту) из выражения:

$$P_{ном} = \frac{F_{макс} \times v_{макс}}{102 \times \eta \times K_{п} \times N_{д}} = \frac{29457 \times 4}{102 \times 0,9 \times 2,5 \times 2} = 256,7 \text{ кВт}$$

где  $\eta = 0,952 = 0,9$  - К.П. Д двухступенчатой передачи;

$K_{п} = 2,5$  - коэффициент допустимой перегрузки;

$N_{д} = 2$  - число двигателей.

### **2.1.2 Проверка двигателей по нагреву**

Проверка двигателей по нагреву производится путём определения среднеквадратичной нагрузки за время одной подачи.

Наиболее точное значение среднеквадратичного тока получается путём построения расчётных кривых токов за время одной подачи, с учётом переходных режимов привода. Приближённый расчёт может быть выполнен на основании идеализированного графика движения со средними значениями ускорений и скоростей (см. рисунок 5).

Для каждого скипа, входящего в подачу, строим кривые статических и динамических усилий в функции времени. Складывая эти кривые, получаем кривую результирующих окружных усилий на ободе барабана лебёдки. Далее находим среднеквадратичное усилие и мощность привода, требующуюся для подъёма данного скипа. Аналогичным путём

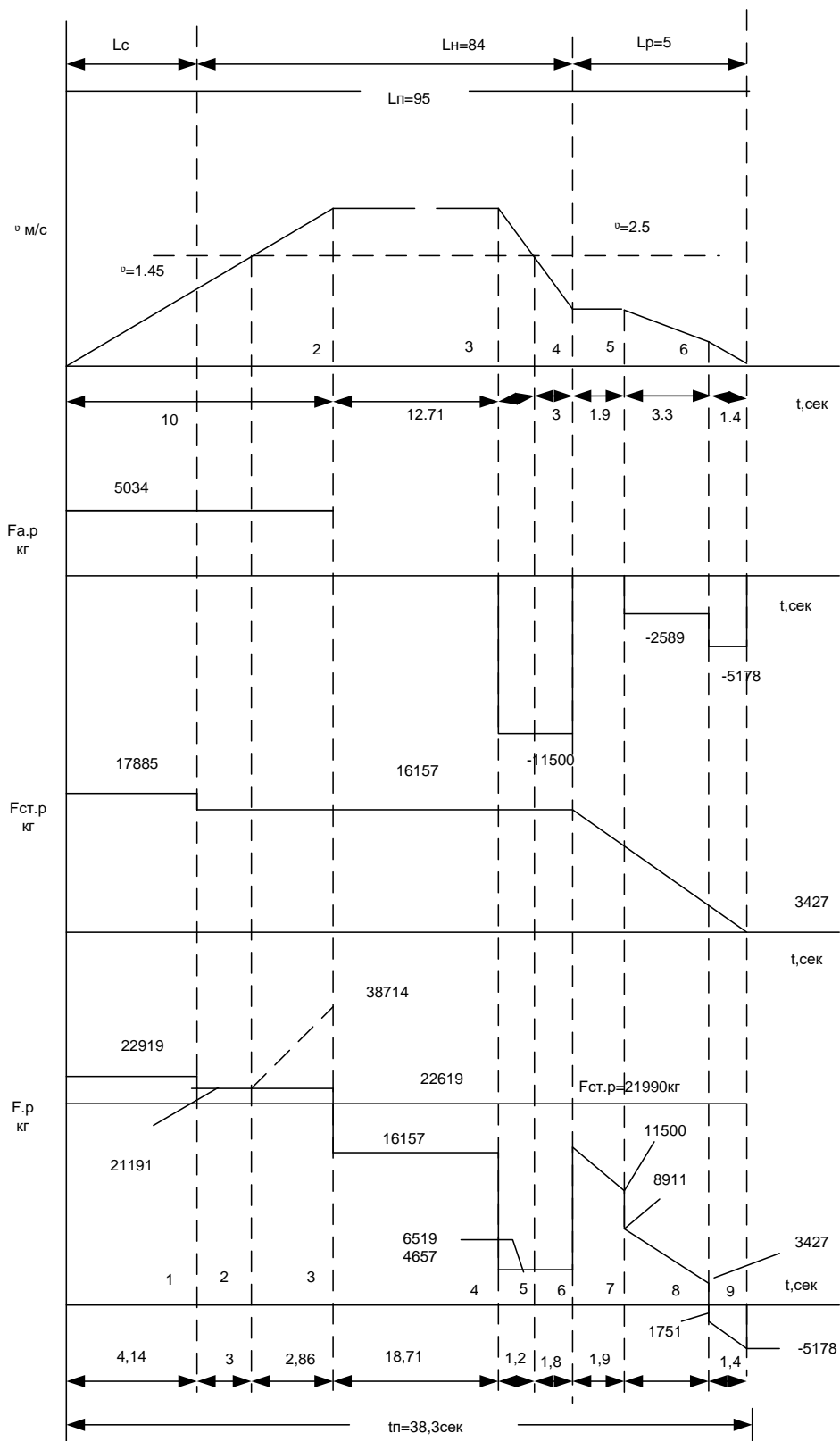


Рисунок 5 - Расчётные графики усилий при подъёме рудного скипа

рассчитываем среднеквадратичную мощность для других скипов, после чего определяем среднеквадратичную мощность двигателей за время всей подачи.

Упростим вычисления, приняв для всей рудной части средний насыпной вес, исходя из фактического состава и количества рудных материалов:

$\gamma_r = 1,8$  - коэффициент веса для рудной части;

$\gamma_k = 0,45$  - коэффициент для коксовой части.

Тогда достаточно провести весь расчёт только для двух случаев: при подъёме одного рудного скипа и одного коксового скипа. Найдём расчётную среднеквадратичную мощность двигателей, кВт, по формуле:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot P^2 \cdot \text{ск.р} + 2 \cdot P^2 \cdot \text{ск.к}) \cdot t_{\text{п}}}{4 \cdot t_{\text{п}} + 0,5 \cdot (2 \cdot t_{\text{вв}} + 2 \cdot t_{\text{к}})}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{п}}$  - полное время подъёма скипа;

$t_{\text{вв}}$  - время стоянки скипа при загрузке рудными материалами из воронко-весов;

$t_{\text{к}}$  - время стоянки скипа при загрузке его коксом;

0,5 - коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения открытых двигателей с естественной вентиляцией при остановке.

Принимаем значения  $t_{\text{п}}$ ,  $t_{\text{вв}}$ ,  $t_{\text{к}}$  согласно реально существующим в системе загрузки доменной печи №3 ОАО «ЗСМК»:

$t_{\text{п}} = 38$  с;

$t_{\text{вв}} = 30$  с;

$t_{\text{к}} = 30$  с;

Рассчитаем среднеквадратичную мощность при подъёме рудного скипа по методике, изложенной в [4, стр. 195].

Найдём полезный вес груза в скипе:

$$G_{\text{г}} - p = \gamma_r \cdot p \cdot Q_{\text{с}} = 1,8 \cdot 10000 = 18000 \text{ кг}$$

Тогда сопротивление движению на участке в скиповой яме определим из выражения:

$$F'.т - p = G.г - p \cdot \sin(\alpha_1) = 18000 \cdot \sin(60^\circ) = 18000 \text{ кГ}$$

Зная полезный вес груза в скипе, рассчитаем суммарные потери в кинематической цепи барабан - скипы:

$$F'.с - p = 0,05 \cdot (G.k + 2 \cdot G.с + G.г - p) = 0,05 \cdot (11140 + 2 \cdot 8400 + 18000) = 2297 \text{ кГ}$$

Далее необходимо определить статические усилия на ободе барабана на участке в скиповой яме и на прямолинейном участке. Статические усилия определим из следующих выражений:

$$F'.ст - p = F'.т - p + F'.с - p, \text{ кГ}; \quad (3)$$

$$F''.ст - p = F''.т - p + F'.с - p, \text{ кГ}, \quad (4)$$

Где  $F''.т - p = G.г - p \cdot \sin(\alpha_2)$ , кГ - сопротивление движению на прямолинейном участке моста.

$$F''.т - p = 18000 \cdot \sin(50.35^\circ) = 13860 \text{ кГ}.$$

Найдём значение выражений 3 и 4

$F'.ст - p = 15588 + 2297 = 17885 \text{ кГ}$ . - статическое усилие на ободе барабана на участке в скиповой яме.

$F''.ст - p = 13860 + 2297 = 16157 \text{ кГ}$ .. - статическое усилие на ободе барабана на прямолинейном участке моста.

Найдём приведённые к канату инерционные массы:

1) всех поступательно движущихся частей:

$$m'_{п - p} = \frac{G.k + 2 \cdot G.с + G.г - p}{g} = \frac{11140 + 2 \cdot 8400 + 18000}{9,8} = 4687 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}.$$

2) суммарное значение

$$\sum m.p = \sum m'_{п - p} + \sum m_l = 4687 + 9698 = 14358 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Определим динамические усилия на ободе барабана:

1) на участке 0-2 в скиповой яме

$$F_{ap-02} = \sum m.p \cdot a_{01} \quad (5)$$

2) на участке 3-4 (при подходе к разгрузочной кривой)

$$F_{ap-34} = - \sum m.p \cdot a_{34} \quad (6)$$

3) на участке 5-6 (второе замедление)

$$F_{ap-56} = - \sum m.p \cdot a_{56} \quad (7)$$

4) на участке 6-7 (последний участок замедление)

$$F_{ap-67} = - \sum m.p \cdot a_{67} \quad (8)$$

Для продолжения расчёта динамических усилий рассчитаем график движения по наклонному мосту. Определим время первого участка [4, стр. 188].

Время первого участка:

где  $v_{23} = 3.5 \text{ м/с}$  - скорость на прямолинейном участке наклонного моста;

$a_{02} = 0.35 \text{ м/с}^2$  - ускорение при разгоне скипа до прямолинейного участка;

тогда из выражения (9) время движения на первом участке:

$$t_{02} = \frac{v_{23}}{a_{02}}, \quad (9)$$

где  $v_{23} = 3.5 \text{ м/с}$  - скорость на прямолинейном участке наклонного моста;

$a_{02} = 0.35 \text{ м/с}^2$  - ускорение при разгоне скипа до прямолинейного участка;

тогда из выражения (9) время движения на первом участке:

$$t_{02} = \frac{3.5}{0.35} = 10 \text{ с.}$$

Длина пути участка 0-2:

$$L_{02} = \frac{v_{23}}{2} \cdot t_{02} = \frac{3.5}{2} \cdot 10 = 17.5 \text{ м,}$$

Длина пути участка 2-3, проходимого с максимальной скоростью:

$$L_{23} = L_{07} - L_{02} - L_{37}, \quad (10)$$

Где  $L_{02} = 95 \text{ м}$  - полный путь скипа по канату.

$L_{37}=12\text{м}$  - расстояние, проходимое скипом от начала первого ускорения до полной остановки;

$$L_{23}=95-17,5-12=65,5\text{м.}$$

Время участка 2-3:

$$t_{34}=\frac{L_{23}}{v_{23}}=\frac{65,5}{3,5}=18,7\text{с};$$

При выходе скипа на участок 3-4 (участок первого торможения), скорость снижается до значения 1,1м/сек. Найдём время первого торможения:

$$t_{34}=\frac{v_3 - v_4}{a_{34}}, \quad (11)$$

где  $v_3=3,5\text{м/с}$  - скорость скипа на прямолинейном участке наклонного моста.

$v_4=1,1\text{м/с}$  - скорость скипа по окончании первого торможения (точка 4).

$a_{34}=0,8\text{м/с}^2$  - первая производная от скорости скипа на участке первого торможения.

$$t_{34}=\frac{3,5 - 1,1}{0,8} = 3\text{с.}$$

Имея время движения скипа на участке 3-4 найдём длину участка:

$$L_{34}=\frac{v_3 - v_4}{2} \cdot t_{34} = \frac{3,5 - 1,1}{2} \cdot 3 = 6,9\text{м.}$$

Найдём длину участка 4-5 из следующего выражения:

$$L_{45}=L_{37}-L_{34}-L_{57}, \quad (12)$$

где  $L_{57}= 3\text{м}$  - длина пути скипа на участке 5-7 [4, стр. 188].

тогда из выражения 12 длина пути скипа на участке 5-7:

$$L_{23}=12-6,9-3=2,1\text{м.}$$

Найдём время, затрачиваемое скипом на прохождение участка 4-5:

$$t_{45}=\frac{L_{45}}{v_4}=\frac{2,1}{1,1}=1,9\text{с.}$$

Найдём длину пути скипа на участке 5-6 из следующего выражения:

$$L_{56}=L_{57}-L_{67}, \quad (13)$$

Где  $L_{67} \approx 0,35\text{м}$  - - длина пути участка 6-7.

Тогда из выражения 13 длина пути участка 5-6:

$$L_{67} = 3 - 0,35 = 2,65\text{м}$$

Найдём время, необходимое для прохождения участка 5-6 из следующего выражения:

$$t_{56} = \frac{2 \cdot L_{56}}{v_5 + v_6}, \quad (14)$$

где  $v_5 = 1,1\text{м/сек}$  - скорость в точке 5 [4, стр. 188]

$v_6 = 0,5\text{м/сек}$  - скорость в точке 6 [4, стр. 188]

тогда из выражения 14 время, необходимое для прохождения участка 5-6 равно:

$$t_{56} = \frac{2 \cdot 2,65}{1,1 + 0,5} = 3,3\text{с.}$$

Найдём замедление на участке 5-6:

$$t_{56} = \frac{v_5 \cdot v_6}{t_{56}} = \frac{1,1 \cdot 0,5}{3,3} = 0,18\text{м/с}^2.$$

Найдём время прохождения участка 6-7:

$$t_{56} = \frac{2 \cdot L_{67}}{v_6} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,5} = 1,4\text{с.}$$

Тогда среднее замедление на участке 6-7 равно:

$$a_{67} = \frac{v_6}{t_{67}} = \frac{0,5}{1,4} \approx 0,36\text{м/с}^2.$$

Произведя расчёт графика движения скипа по наклонному мосту имеем все данные для нахождения полного времени подъёма скипа:

$$t_n = t_{02} + t_{23} + t_{34} + t_{45} + t_{56} + t_{67} = 10 + 18,71 + 3 + 1,9 + 3,3 + 1,4 = 38,3\text{с.}$$

Из выражения 5 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 0 - 2 (в скиповой яме):



$$F_{ap-02} = 14385 \cdot 0,35 = 5034 \text{кГ}$$

Из выражения 6 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 3-4 (при подходе к разгрузочной кривой):

$$F_{ap-34} = -14385 \cdot 0,8 = -11500 \text{кГ}$$

Из выражения 7 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 5-6 (второе замедление):

$$F_{ap-56} = -14385 \cdot 0,18 = -2589 \text{кГ}$$

Из выражения 8 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 6-7 (последний участок замедления):

$$F_{ap-67} = -14385 \cdot 0,36 = -5178 \text{кГ}$$

Зная динамические усилия на ободе барабана на участках наклонного моста найдём суммарные усилия на ободе барабана. Участок 0-2 разобьём на 3 участка, так как в нём имеется наклон моста в скиповой яме, прямолинейный участок наклонного моста, а так же зона разгона с ослаблением поля. Но для расчёта так же необходимо найти скорость, которой достигнет скип по выходу на прямолинейный участок наклонного моста, а для нахождения скорости необходимо знать время, которое понадобится скипу для преодоления этого участка. Итак, время, необходимое для прохождения участка пути в скиповой яме найдём из выражения:

$$t = \sqrt{\frac{S}{a_{02}}},$$

где  $S = 6 \text{м}$  - путь скипа на участке наклонного моста с наклоном  $\alpha 1$ .

Тогда время движения из выражения 15 равно:

$$t = \sqrt{\frac{6}{0.35}} = 4.14 \text{с},$$

Зная время движения на этом участке найдём скорость, которую разовьёт скип по выходу с участка скиповой ямы;

$$v = \frac{S}{t} = \frac{6}{4.14} = 1.449 \text{ м/с},$$

Этот участок обозначим, как участок  $t_{01}$ . Далее необходимо найти время, за которое скип достигнет скорости 2,5 м/сек. Время найдём из выражения:

$$t_1 = \frac{v_2 - v}{a_{02}}, \quad (16)$$

где  $v_2 = 2,5 \text{ м/сек}$  – скорость перехода на ослабление поля двигателя.

Тогда из выражения 16 найдём время движения скипа на прямолинейном участке наклонного моста без ослабления поля:

$$t_1 = \frac{2,5 - 1,449}{0,35} = 3 \text{ с},$$

Зная время  $t_1$  найдём время, затрачиваемое скипом для достижения скорости с 2,5 м/сек до 3,5 м/сек с ослаблением поля:

$$t_2 = t_{02} - t - t_1 = 10 - 4,14 - 3 = 2,86 \text{ с}.$$

Найдём суммарные усилия на ободе барабана для участка 0-2.

1) для времени  $t$ :

$$F_{p01} = F_{ap-02} + F'_{ст-р} = 5034 + 17885 = 22919 \text{ кГ}$$

2) для времени  $t_1$ :

$$F_{p12} = F_{ap-02} + F''_{ст-р} = 5034 + 16157 = 21191 \text{ кГ}$$

3) для времени  $t_2$ :

$$F_{p23} = (F_{ap-02} + F'_{ст-р}) \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = (5034 + 16157) \cdot \frac{3,5}{2,5} = 38714 \text{ кГ}$$

где  $\frac{v_{23}}{2,5}$  - коэффициент, учитывающий приведённые к канату расчетные

(фиктивные) усилия при ослаблении поля двигателей.

4) для времени  $t_3$ :

расчётное (фиктивное) усилие без ослабления поля равно  $F''_{ст-р}$

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно:

$$F_{p34} = F''_{ст-р} \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = 16157 \cdot \frac{3,5}{2,5} = 22619 \text{кГ}$$

5) для времени  $t_{45}$ :

с ослаблением потока:

$$F_{p45} = (F''_{ст-р} + F''_{ар-34}) \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = (16157 - 11500) \cdot \frac{3,5}{2,5} = 6519 \text{кГ}$$

без ослабления потока:

$$F'_{p45} = F''_{ст-р} + F_{ар-34} = 16157 - 11500 = 4657 \text{кГ}$$

6) для времени  $t_{56}$ :

$$F_{p56} = F''_{ст-р} + F_{ар-34} = 16157 - 11500 = 4657 \text{кГ}$$

7) для времени  $t_{67}$ :

особенностью этого участка (участок 4-7) является то, что  $F''_{ст-р}$  находим графо-аналитическим методом, так как на разгрузочном участке принимаем снижение расчетного усилия линейным от значения  $F''_{ст-р}$  (начальное) до  $F''_{ст-р} = 0$ . Тогда:

$$F_{p67} = F''_{ст-р} + F_{ар-56} = 11500 - 2589 = 8911 \text{кГ}$$

8) для времени  $t_{78}$ :

$$F_{p78} = F''_{ст-р} + F_{ар-67} = 3427 - 5178 = -1751 \text{кГ}$$

Далее рассчитаем среднеквадратичное усилие на ободе барабана при подъёме рудного скипа:

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{\sum F_p^2 \cdot t}{t_y + 0,75t_a}}, \quad (17)$$

где  $t_y$  - время движения с равномерной скоростью;

$$t_y = t_{34} = 18,71 \text{ сек};$$

$t_a$  - время движения с переменной скоростью;

$$t_a = t_n - t_y = 38,3 - 18,71 = 19,59 \text{сек};$$

0,75 - коэффициент, учитывающий ухудшение вентиляции при разгоне и торможении привода.

На временных интервалах  $t_{45}t_{67}t_{78}t_{89}$  для удобства расчёта усредним суммарные усилия. Тогда:

для временного интервала  $t_{23}$ :

$$F''_{p23} = \frac{F_p 12 + F_p 23}{2} = \frac{21191 + 38714}{2} = 29952 \text{ кГ}$$

для временного интервала  $t_{45}$ :

$$F''_{p45} = \frac{F_p 45 + F'_p 45}{2} = \frac{6519 + 4657}{2} = 5588 \text{ кГ}$$

для временного интервала  $t_{67}$ :

$$F'_{p67} = \frac{F_{ст-р} + F_{ст-р1}}{2} = \frac{16157 + 11500}{2} = 13828,5 \text{ кГ}$$

для временного интервала  $t_{78}$ :

$$F'_{p78} = \frac{F_p 67 + F_{ст-р2}}{2} = \frac{8911 + 3427}{2} = 6169 \text{ кГ}$$

для временного интервала  $t_{89}$ :

$$F'_{p89} = \frac{F_p 78 + F_{ар-67}}{2} = \frac{-1751 - 5178}{2} = 3464,5 \text{ кГ}$$

тогда из выражения 17 среднеквадратичное усилие на ободе барабана при подъёме рудного скипа:

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{F_{p01}^2 \cdot t + F_{p12}^2 \cdot t_1 + F''_{p23}^2 \cdot t_2 + F_{p34}^2 \cdot t_{34} + F''_{p45}^2 \cdot t_{45} + F'_{p56}^2 \cdot t_{56} + F'_{p67}^2 \cdot t_{67} + F'_{p78}^2 \cdot t_{78}}{t_y + 0,75 \cdot t_a}},$$

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{22919^2 \cdot 4.14 + 21191^2 \cdot 3 + 27654^2 \cdot 2.86 + 22619^2 \cdot 18.71 + 5588^2 \cdot 1.2 + 13828.5^2 \cdot 1.9 + 6169^2 \cdot 3.3 + 3464.5^2 \cdot 1.4}{18.71 + 0.75 \cdot 19.59}},$$

$$F_{ст-р} = 21990 \text{ кГ}$$

Найдём среднеквадратичную мощность двигателя при подъёме рудного скипа:

$$P_{ск,р} = \frac{F_{ск-р} \cdot v_M}{102 \cdot \eta \cdot N_d} = \frac{21990 \cdot 3,5}{102 \cdot 0,9 \cdot 2} = 404 \text{ кВт}$$

где  $v_m=3,5$ м/сек - максимальная скорость скипа;

$\eta=0,99$  - КПД двухступенчатой передачи;

$N_d=2$  - число двигателей.

Аналогичным образом рассчитаем среднеквадратичную мощность при подъёме коксового скипа.

Найдём полезный вес груза в скипе:

$$G_{r-k} = \gamma \cdot p \cdot Q \cdot c = 0.45 \cdot 10000 = 4500 \text{ кГ}$$

Тогда сопротивление движению на участке в скиповой яме определим из выражения:

$$F'_{r-k} = G_{r-k} \cdot \sin(\alpha_1) = 4500 \cdot \sin(60^\circ) = 3897 \text{ кГ}$$

Зная полезный вес груза в скипе, рассчитаем суммарные потери в кинематической цепи барабан - скипы:

$$F'_{c-k} = 0.05 \cdot (G_k + 2 \cdot G_c + G_{r-k}) = 0.05 \cdot (11140 + 2 \cdot 8400 + 4500) = 1622 \text{ кГ}$$

Далее необходимо определить статические усилия на ободе барабана на участке в скиповой яме и на прямолинейном участке. Статические усилия определим из выражений 3 и 4:

где  $F''_{r-k} = G_{r-k} \cdot \sin(\alpha_2)$  - сопротивление движению на прямолинейном участке моста.

$$F''_{r-k} = 4500 \cdot \sin(50,35^\circ) = 3464 \text{ кГ}$$

Найдём значение выражений 3 и 4:

$F'_{ст-k} = 3807 + 1622 = 5519 \text{ кГ}$  - статическое усилие на ободе барабана на участке в скиповой яме.

$F''_{ст-k} = 3464 + 1622 = 5086 \text{ кГ}$  - статическое усилие на ободе барабана на прямолинейном участке моста.

Найдём приведённые к канату инерционные массы:

1) всех поступательно движущихся частей:

$$m'_{п-к} = \frac{G_{к} + 2 \times G_{с} + G_{г-к}}{g} = \frac{11140 + 2 \cdot 8400 + 4500}{9.8} = 3311 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

2) суммарное значение

$$\sum m_{к} = m'_{п-к} + \sum m_l = 3311 + 9698 = 13008 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Определим динамические усилия на ободе барабана:

Из выражения 5 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 0 - 2 (в скиповой яме):

$$F_{ак-02} = 13008 \cdot 0,35 = 4552 \text{кГ}$$

Из выражения 6 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 3-4 (при подходе к разгрузочной кривой):

$$F_{ак-34} = 13008 \cdot 0,8 = 10406 \text{кГ}$$

Из выражения 7 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 5-6 (второе замедление):

$$F_{ак-56} = -13008 \cdot 0,8 = -2341 \text{кГ}$$

Из выражения 8 найдём динамическое усилие на ободе барабана на участке 6-7 (последний участок замедления):

$$F_{ак-67} = -13008 \cdot 0,36 = -4682 \text{кГ}$$

Найдём суммарные усилия на ободе барабана для участка 0-2.

1) для времени t:

$$F_{p01} = F_{ак-02} + F'_{ст-к} = 4552 + 5519 = 10071 \text{кГ}$$

2) для времени t<sub>1</sub>:

$$F_{p12} = F_{ак-02} + F''_{ст-к} = 4552 + 5086 = 9638 \text{кГ}$$

3) для времени t<sub>2</sub>:

$$F_{p23} = (F_{ак-02} + F''_{ст-к}) \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = (4552 + 5086) \cdot \frac{3,5}{2,5} = 13493 \text{кГ}$$

где  $\frac{v_{23}}{2,5}$  - коэффициент, учитывающий приведённые к канату расчетные

(фиктивные) усилия при ослаблении поля двигателей.

4) для времени  $t_{34}$ :

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно  $F''_{\text{ст-к}}$

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно:

$$F_{p34} = F''_{\text{ст-к}} \cdot \frac{v_{23}}{2,5} = 5086 \cdot \frac{3,5}{2,5} = 7120 \text{ кГ}$$

5) для времени  $t_{45}$ :

с ослаблением потока:

$$F_{p45} = (F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-34}}) \frac{v_{23}}{2,5} = (5086 + 10406) \cdot \frac{3,5}{2,5} = -7448 \text{ кГ}$$

без ослабления потока:

$$F'_{p45} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-34}} = 5086 + 10406 = -5320 \text{ кГ}$$

6) для времени  $t_{56}$ :

$$F_{p56} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-34}} = 5086 + 10406 = -5320 \text{ кГ}$$

7) для времени  $t_{67}$ :

особенностью этого участка (участок 4-7) является то, что  $F''_{\text{ст-к}}$  находим графо-аналитическим методом, так как на разгрузочном участке принимаем снижение расчетного усилия линейным от значения  $F''_{\text{ст-к}}$  (начальное) до

$F''_{\text{ст-к}} = 0$ . Тогда:

$$F_{p67} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-56}} = 3621 + 2341 = 1280 \text{ кГ}$$

7) для времени  $t_{78}$ :

$$F_{p78} = F''_{\text{ст-к}} + F_{\text{ак-67}} = 1078 + 4682 = -3604 \text{ кГ}$$

Далее рассчитаем среднеквадратичное усилие на ободу барабана при подъёме коксового скипа из выражения 17.

На временных интервалах  $t_{23}$   $t_{45}$   $t_{67}$   $t_{78}$   $t_{89}$  для удобства расчёта усредним суммарные усилия. Тогда:

для временного интервала  $t_{23}$ :

$$F''_{p23} = \frac{F_{p12} + F_{p23}}{2} = \frac{9638 + 13493}{2} = 11565 \text{кГ}$$

для временного интервала  $t_{45}$ :

$$F'_{p67} = \frac{F_{ст-р} + F_{ст-к1}}{2} = \frac{5086 + 3621}{2} = 4353 \text{кГ}$$

для временного интервала  $t_{78}$ :

$$F'_{p78} = \frac{F_{p67} + F_{ст-к2}}{2} = \frac{1280 + 1078}{2} = 1179 \text{кГ}$$

для временного интервала  $t_{89}$ :

$$F'_{p89} = \frac{F_{p78} + F_{ак-67}}{2} = \frac{-3604 - 4682}{2} = -4143 \text{кГ}$$

тогда из выражения 17 среднеквадратичное усилие на ободе барабана при подъёме коксового скипа:

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{F_{p01}^2 \cdot t + F_{p12}^2 \cdot t_1 + F''_{p23}^2 \cdot t_2 + F_{p34}^2 \cdot t_{34} + F''_{p45}^2 \cdot t_{45} + F'_{p56}^2 \cdot t_{56} + F'_{p67}^2 \cdot t_{67} + F'_{p78}^2 \cdot t_{78}}{t_y + 0,75 \cdot t_a}},$$

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{10071^2 \cdot 4.14 + 9638^2 \cdot 3 + 11565^2 \cdot 2.86 + 7120^2 \cdot 18.71 + 6384^2 \cdot 1.2 + 4353^2 \cdot 1.9 + 1179^2 \cdot 3.3 + 4132^2 \cdot 1.4}{18.71 + 0.75 \cdot 19.59}},$$

$$F_{ст-к} = 8010 \text{кГ}$$

Найдём среднеквадратичную мощность двигателя при подъёме коксового скипа из выражения 18:

$$P_{ск,к} = \frac{8010 \cdot 3,5}{102 \cdot 0,9 \cdot 2} = 152,7 \text{кВт}$$

Из выражения 2.1 найдём среднеквадратичную мощность двигателя:

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{(2 \cdot 404^2 + 2 \cdot 152,7^2) \cdot 38}{4 \cdot 38 + 0,5 \cdot (2 \cdot 30 + 2 \cdot 30)}} = 258 \text{кВт}$$

Таким образом, электропривод лебёдки С 1-22,5-210 удовлетворяет условиям проверки по максимальному моменту и нагреву при условии обеспечения максимальной производительности.





## 2.2. Расчет и выбор элементов электрооборудования силовой цепи.

### 2.2.1 Выбор электродвигателя

Исходя из выше приведённых расчётов выбираем двигатель типа ДП74/34-6 со следующими паспортными данными

Номинальная мощность	$P_n = 260 \text{ кВт};$
Номинальный ток	$I_n = 860 \text{ А};$
Номинальная скорость	$n_n = 500/700 \text{ об/мин};$
Номинальный момент	$M_n = 0,508/0,363 \text{ т*м};$
Число параллельных ветвей обмотки якоря	$a=3;$
Число витков на полюс для обмотки возбуждения 715 вит/пол;	$w_d =$
Номинальный ток возбуждения	$I_{н.в} = 6,7/4,4 \text{ А};$
Номинальный поток на полюс	$\Phi_n = 0,0725/0,052 \text{ Вб};$
Число пар полюсов	$p = 3;$
Сопротивление обмотки якоря	$R_{оя.д20}^{0^{\circ}} = 0,0075 \text{ Ом}$
Сопротивление добавочных полюсов	$R_{дп.д20}^{0^{\circ}} = 0,0015 \text{ Ом}$
Сопротивление компенсационной обмотки	$R_{ко.д20}^{0^{\circ}} = 0,004 \text{ Ом}$
Сопротивление обмотки возбуждения 17,9 Ом	$R_{ов.д20}^{0^{\circ}} =$



Рисунок 7 – Электродвигатель скипового подъемника

Найдём сопротивление двигателя в горячем состоянии:

$$R_{\text{дв.гор}} = 1,38 \cdot (R_{\text{я.д.20}^\circ} + R_{\text{дп.д20}^\circ} + R_{\text{ко.д20}^\circ}) + \frac{\Delta U_{\text{щ}}}{I_{\text{н}}} =$$

$$1,38 \cdot (0,0075 + 0,0015 + 0,004) + \frac{2}{860} = 0,02026 \text{ Ом}$$

где  $\Delta U_{\text{щ}} = 2 \text{ В}$  - падение напряжения на щётках;

Номинальная угловая скорость вращения вала двигателя

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,36 \text{ рад/с}$$

Конструктивная постоянная двигателя

$$c = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{д.в.гор}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{330 - 860 \cdot 0,02}{52,36} = 5,97 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Индуктивность якоря одного электродвигателя

$$L_{\text{д.в}} = \gamma \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}} \cdot p \cdot \omega_{\text{н}}} = 0,15 \cdot \frac{330}{860 \cdot 3 \cdot 52,36} = 0,0003664 \text{ Гн}$$

где  $\gamma = 0,15$  - коэффициент для компенсированных электродвигателей;

$p = 3$  число пар полюсов.

Найдём момент инерции одного электродвигателя

$$J_{\text{дв}} = \frac{0,5 \cdot GD_{\text{дв}}^2}{4} = \frac{0,05 \cdot 700}{4} = 87,5 \text{ кгм}^2$$

Эквивалентный момент инерции электропривода

$$J_{\text{э}} = 2 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{GD_{\text{м}}^2}{4} = 2 \cdot 87,5 + \frac{550}{4} = 312,5 \text{ кгм}^2$$

### 2.2.2 Выбор вентильного преобразователя

Исходя из параметров выбранного электродвигателя выбираем реверсивный тиристорный преобразователь типа SIMOREG-K - 6RA2491-4DV62-0.



Рисунок 8 – Преобразователь скипового подъемника

Преобразователи SIMOREGDCMASTER серии 6RA70 являются полностью цифровыми компактными преобразователями с питанием от трехфазной сети и служат для питания якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока с регулируемой скоростью с номинальными токами якоря от 15А до 2200А. Параллельным включением компактных преобразователей возможны токи до 12000А. Питание обмотки возбуждения возможно с токами до 85А (в зависимости от номинального постоянного тока якоря).

В зависимости от использования преобразователи могут работать в нереверсивном или в реверсивном режиме. Преобразователи автономны благодаря интегрированной системе настройки параметров и не требуют

дополнительных устройств для параметрирования. Все функции управления и регулирования, а также контрольные и вспомогательные функции выполняются под управлением одной микропроцессорной системы. Ввод заданного и текущего значения может производиться по выбору в цифровом или в аналоговом виде.

Преобразователи SIEMENS SIMOREG 6RA70 отличаются компактностью и экономией пространства для своей установки. В дверцу преобразователя встроен электронный бокс, который включает в себя модули регулирования. Этот бокс может быть дополнен модулями для технологических функций и последовательных интерфейсов. Благодаря удобной доступности отдельных элементов эта техника предоставляет Вам высокую степень дружелюбности сервиса.

Внешние сигналы (двоичные входы/выходы), аналоговые входы/выходы, импульсные датчики, и т.д.) подключаются посредством вставляемого штеккера. Программное обеспечение преобразователя хранится в flash EPROM. Обновление программного обеспечения может быть легко загружено по последовательному интерфейсу в базовый блок.

Справочные данные на тиристорный преобразователь приведены в таблице 2

Таблица 2 Данные тиристорного преобразователя

Прим.	Наименование	Обозначение	Данные
ПАСПОРТНЫЕ ДААННЫЕ	Схема выпрямления	трёхфазная мостовая	
	Число пульсаций	$m_b$	6
	Номинальное напряжение выпрямленное	$U_N$	420В
	Номинальный выпрямленный ток	$I_N$	2 x 850А
	Кратность перегруза по току ТП	$I_{\max}/I_N$	1,5

### 2.2.3 Расчёт и выбор силового трансформатора

Выбор согласующего силового трансформатора для питания вентильного преобразователя производится по расчётным значениям  $I_{2ф}$  и  $U_{2ф}$  вторичной обмотки и типовой мощности трансформатора  $S_{тр}$  согласно [3].

Найдём расчётное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора.

$$U_{2.ф.расч} = K_{u2} \cdot \frac{1}{K_c} \cdot K_\alpha \left(1 + K_R \cdot \frac{2.5 \cdot I_H}{I_H}\right) \cdot U_{д.макс}, \quad (21)$$

Где  $K_c=0,85$ - коэффициент, учитывающий заданное снижение напряжения в сети (15%).

$K_{U2} = 0.428$  - расчётный коэффициент, характеризующий соотношение  $U_{2ф}/E_{d0}$  в идеальном выпрямителе.

$\alpha_{мин} = 30^\circ$  - минимальный угол открывания тиристоров.

- коэффициент, учитывающий падение

$$\cos(\alpha_{мин}) \cos(30^\circ)$$

напряжения в преобразователе.

$K_R = 0.1$  - коэффициент, учитывающий падение напряжения в преобразователе.

$$U_{д.макс} = c \cdot \omega_H - 2.5 \cdot I_H \cdot R_{дв.гор} = 5.97 \cdot 52.36 - 2.5 \cdot 860 \cdot 0.01 = 269В$$

максимальное напряжение на двигателе

Тогда из выражения(21)

$$U_{2.ф.расч} = 0.428 \cdot \frac{1}{0.85} \cdot 1.155 \cdot \left(1 + 0.1 \cdot \frac{2.5 \cdot 860}{860}\right) \cdot 269 = 195.5В$$

Расчётное действующее значение фазового тока вторичной обмотки

$$I_{2.ф.расч} = K_I \cdot K_{I2} \cdot I_d = 1.1 \cdot 0.815 \cdot 860 = 770.99А,$$

где  $K_I = 1.1$  - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной;

$K_{I2} = 0.815$  - коэффициент, характеризующий отношение  $I_f/I_d$  и зависящий

от схемы выпрямления,

$$I_d = I_H$$

Расчётная типовая мощность трансформатора:

$$S_{\text{тр.расч}} = K_S \cdot \frac{U_{2\text{ф.расч}}}{K_{u2}} \cdot K_I \cdot I_d = 1.045 \cdot \frac{195.5}{0.428} \cdot 1.1 \cdot 860 = 4.516 \cdot 10^5 \text{ В} \times \text{А},$$

где  $K_S = 1,045$  – коэффициент схемы.

Максимальная мощность, отдаваемая трансформатором в режиме рабочей перегрузки двигателя

$$S_{\text{тр.расч}} = K_S \cdot (1 + K_R \cdot 2.5) \cdot K_I \cdot P_{\text{дв.макс}}$$

$$S_{\text{тр.расч}} = 1,045 \cdot (1 + 0,1 \cdot 2.5) \cdot 1,1 \cdot 709500 = 1,019 \cdot 10^6 \text{ В} \times \text{А}$$

Где  $P_{\text{дв.макс}} = 0,2 \cdot U_H \cdot I_H = 2.5 \cdot 330 \cdot 860 = 709500 \text{ Вт}$  - максимальная мощность, потребляемая двигателем.

Выбираем из [5] трансформатор типа ТСЗП - 630/10УЗ со следующими паспортными данными:

Напряжение первичной обмотки трансформатора $U_H$	10кВ;
Номинальная мощность $S_H$	554кВА;
Активная мощность потерь к.з в обмотках трансформатора $\Delta P_{\text{кз}}$	6350Вт;
Относительное напряжение к.з трансформатора $U_{\text{кз}\%}$	6,2%;
Линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора $U_{2\text{Л.Н}}$	313В;
Линейный ток вторичной обмотки трансформатора $I_{2\text{Л.Н}}$	1020А;
Схема соединения обмоток трансформатора	Y / Δ - 11.



Рисунок 9 – Трансформатор скипового подъемника

Найдём дополнительные параметры трансформатора, рассмотрев схему включения трансформатора, как эквивалентная Y/Y.

Номинальное значение фазного тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_{2\text{ф.н}} = I_{2\text{л.н}} = 1020 \text{ A}$$

Номинальное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{2\text{ф.н}} = \frac{U_{2\text{л.н}}}{\sqrt{3}} = \frac{313}{\sqrt{3}} = 181 \text{ В.}$$

Угловая частота питающей сети:



при частоте питающей сети  $f = 50 \text{ Гц}$

$$\omega_H = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$R_{\text{тр.ф}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{m^2 \cdot I_{2\text{ф.н}}^2} = \frac{6350}{3 \cdot 1020^2} = 0,00202 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$Z_{\text{тр.ф}} = \frac{U_{\text{кз\%}} \cdot U_{2\text{ф.н}}}{100 \cdot I_{2\text{ф.н}}} = \frac{6.2 \cdot 181}{100 \cdot 1020} = 0,011 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$X_{\text{тр.ф}} = \sqrt{Z_{\text{тр.ф}}^2 - R_{\text{тр.ф}}^2} = \sqrt{0,011^2 - 0,012^2} = 0,0108 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки трансформатора на фазу

$$L_{\text{тр.ф}} = \frac{X_{\text{тр.ф}}}{\omega_c} = \frac{0,0108}{314} = 0,0000344 \text{ Гн.}$$

## 2.2.4 Выбор токоограничивающих реакторов

Полное сопротивление токоограничивающего реактора определяется по формуле

$$Z_p = \frac{U_{\text{кз\%}} \cdot U_{\text{ф.н}}}{100 \cdot I_{2\text{ф.расч}}} = \frac{4 \cdot 220}{100 \cdot 770,99} = 0,011 \text{ Ом.}$$

где  $U_{\text{кз\%}}$  - относительное напряжение

короткого замыкания реактора,  $U_{\text{кз\%}} = 4$

$U_{\text{ф.н}}$  - номинальное фазное напряжение сети.

Реактивное сопротивление фаз реактора

$$X_p \approx Z_p = 0,011 \text{ Ом.}$$

Индуктивность фазы реактора

$$L_p = \frac{X_p}{\omega_c} = \frac{0.011}{314} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Расчётное значение тока, протекающего через реактор равно

$$I_{\text{Ф.Р.РАСЧ}} = K_{12} \cdot K_1 \cdot \frac{I_{\text{н}}}{2} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot \frac{860}{2} = 368 \text{ А.}$$

Исходя из выше перечисленных условий выбираем трёхфазный токоограничивающий реактор типа **РТСТ - 660 - 0,034 УЗ** со следующими паспортными данными:

Номинальный ток фазы реактора  $I_{\text{Р.Ф}} = 660 \text{ А;}$

Индуктивность фазы реактора Активное  $L_{\text{Р.Ф}} = 0,034 \cdot 10^{-3} \text{ Гн;}$

Активное сопротивление фазы реактора  $R_{\text{Р.Ф}} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$

Найдём реактивную составляющую сопротивления токоограничивающего реактора

$$X_{\text{Р.Ф}} = L_{\text{Р.Ф}} \cdot \omega = 0,034 \cdot 10^{-3} \cdot 314 = 0,0107 \text{ Ом.}$$

### 2.2.5 Определение параметров фаз

Фазное активное сопротивление

$$R_{\text{Ф}} = R_{\text{ТР.Ф}} + R_{\text{Ф.Р}} = 0,002 + 0,0013 = 0,0033 \text{ Ом.}$$

Фазная индуктивность

$$L_{\text{Ф}} = L_{\text{ТР.Ф}} + L_{\text{Ф.Р}} = 0,0000344 + 0,000034 = 0,0000684 \text{ Гн.}$$

Реактивная составляющая полного сопротивления фазы

$$X_{\text{Ф}} = X_{\text{ТР.Ф}} + X_{\text{Ф.Р}} = 0,0108 + 0,0107 = 0,0215 \text{ Ом.}$$

### 2.2.6 Определение параметров эквивалентного преобразователя

Эквивалентное фазное сопротивление преобразователя

$$R_{\Phi.\Delta} = \frac{R_{\Phi}}{2} = \frac{0,0033}{2} = 0,00165 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная фазная индуктивность преобразователя

$$L_{\Phi.\Delta} = \frac{L_{\Phi}}{2} = \frac{0,000068}{2} = 0,000034 \text{ Гн.}$$

Эквивалентное реактивное сопротивление преобразователя

$$X_{\Phi.\Delta} = \frac{X_{\Phi}}{2} = \frac{0,0215}{2} = 0,01075 \text{ Ом.}$$

### 2.2.7 Выбор сглаживающего дросселя

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов

Наибольшая ширина зоны прерывистых токов при раздельном управлении имеет место при угле управления  $\alpha = 90^\circ$ , тогда минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока (тока нагрузки) для получения гранично-непрерывного режима определяется выражением:

$$L_{\text{кн1}} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{\text{гр.макс}} \cdot \frac{U_{2\text{ф.н}}}{K_{u2} \cdot I_{\text{д.гр}}} = \frac{1}{314} \cdot 0,093 \cdot \frac{181}{0,428 \cdot 86} = 1,456 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

где  $I_{\text{д.гр}} = 0,1 \cdot I_{\text{н}} = 0,1 \cdot 860 = 86 \text{ А}$  - значение начально-непрерывного тока.

$$K_{\text{гр.макс}} = 1 - \frac{\pi}{m_B} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m_B} = 1 - \frac{3,141}{6} \cdot \text{ctg} \frac{3,141}{6} = 0,093.$$

Индуктивность добавочного дросселя определяется по следующему выражению:

$$L_{\text{др1}} = L_{\text{кн1}} - 2 \cdot L_{\text{тр.н}} - L_{\text{дв}} = 0,001456 - 2 \cdot 0,000034 - 0,0003664 = 1,0216 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения пульсаций выпрямленного тока

Пульсации выпрямленного напряжения приводят к пульсациям выпрямленного тока, которые ухудшают коммутацию двигателя и увеличивают его нагрев. Кривая выпрямленного напряжения  $E_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha$ , и переменную, состоящую из спектра гармоник. Ограничиваемая с учётом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи выпрямленного тока может быть определена по выражению:

$$L_{\text{кн2}} = \frac{E_{d(1).\text{макс}} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot p_{(1)\%} \cdot I_d} = \frac{102,52 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 5 \cdot 860} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

где  $E_{d(1).\text{макс}}$  - действующее значение первой гармоники пульсирующего выпрямленного напряжения при угле управления  $\alpha = 90^\circ$ .

$$E_{d(1).\text{макс}} = \frac{U_{2\phi.\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot m_B}{K_{u2} \cdot (m_B^2 - 1)} = \frac{181 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,428 \cdot (6^2 - 1)} = 102,52 \text{ В.}$$

$p_{1\%} = 5$  - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах.

Индуктивность добавочного дросселя определим из следующего выражения:

$$L_{\text{др2}} = L_{\text{кн2}} - 2 \cdot L_{\text{тр.н}} - L_{\text{дв}} = 0,00126 - 0,000068 - 0,0003664 = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Из [5] выбираем дроссель типа **ФРОС - 1000/0,5УЗ** со следующими параметрами:

Индуктивность дросселя  $L_{\text{др}}$  0,0016 Гн;

Активное сопротивление дросселя  $R_{\text{др}}$  0,0031 Ом;

Длительный ток  $I_{\text{длит}}$  1000 А.

## 2.2.8 Расчёт параметров силовой цепи

Расчётное сопротивление силовой цепи:

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{дв.гор}} + 2 \cdot R_{\text{ф.э}} + R_{\text{др}} + R_{\text{к}} = 0,02 + 0,0033 + 0,0031 + 0,0102 = 0,035 \text{ Ом.}$$

где  $R_k = \frac{m_v \cdot X_{\Phi, \Delta}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,01075}{2 \cdot 3,14} = 0,0102 \text{ Ом}$  - сопротивление, вносимое за счет

коммутации анодных токов.

Расчётное значение индуктивности силовой цепи:

$$L_{яц} = L_{дв} + 2 \cdot L_{\Phi, \Delta} + L_{др} = 0,0003664 + 0,000068 + 0,0016 = 0,00203 \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0,00203}{0,035} = 0,058 \text{ с.}$$

Механическая постоянная времени силовой цепи:

$$T_m = \frac{J_{\Delta} \cdot R_{яц}}{c^2} = \frac{312,5 \cdot 0,061}{5,97^2} = 0,0533 \text{ с.}$$

Найдём отношение.

$$\frac{T_m}{T_{яц}} = \frac{0,533}{0,058} = 9,18.$$

так как  $T_m/T_{яц} \gg 8$ , то влиянием внутренней обратной связи по ЭДС двигателя в расчётах можно пренебречь.

## 2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода.

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода (замкнутой системы), ограниченная значением  $\omega = \pm \omega_{\text{макс}}$  и зависимостью  $\pm I_{\text{доп}}(\omega)$ , должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь - двигатель. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы вентилей в режиме предельного инвертирования, а в выпрямительном режиме при

минимальном угле управления. Выполнение этого условия требует значительного запаса по напряжению и мощности преобразователя и силового трансформатора. Так же должны быть выполнены следующие условия: при пониженном напряжении сети и работе преобразователя в выпрямительном режиме с минимальным углом управления электромеханическая характеристика разомкнутой системы должна быть расположена выше точки с координатами  $\omega = \omega_{\text{макс}}$  и  $I = I_{\text{н}}$  а при реверсировании электропривода должно обеспечиваться безопасное инвертирование при допустимом токе двигателя.

Для построения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода найдём характеристику электропривода при номинальном потоке двигателя и выпрямительном режиме работы преобразователя:

$$\omega_{0.\text{выпр.норм.ф}} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}})) = \frac{1}{5,97} \cdot (422,21 \cdot \cos(20^\circ)) = 66,45 \text{ рад/с},$$

$$\text{где } E_{d0} = \frac{(U_{2\text{ф.н}} / \sqrt{3})}{K_{u2}} = \frac{(313 / \sqrt{3})}{0,428} = 422,221 \text{ В} - \text{ЭДС преобразователя при угле}$$

управления  $\alpha = 0^\circ$

$$\omega_{\text{максвыпрнормф}} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}}) - 2,5 \cdot I_d \cdot R_{\text{яц}}) = \frac{1}{5,97} \cdot (422,221 \cdot \cos(20^\circ) - 2,5 \cdot 860 \cdot 0,035) = 53,85 \text{ рад/с},$$

Координаты при ослаблении потока.

При ослаблении потока кратность тока двигателя должна быть снижена до 2, что учтено в расчёте.

$$\omega_{0.\text{выпр.осл.ф}} = \frac{1}{c1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}})) = \frac{1}{4,282} \cdot (422,221 \cdot \cos(20^\circ)) = 92,65 \text{ рад/с, где}$$

$$c1 = c \cdot \frac{\Phi_{\text{мин}}}{\Phi_{\text{н}}} = 5,97 \cdot \frac{0,052}{0,073} = 4,282 \text{ В} \cdot \text{с} - \text{ конструктивная постоянная}$$

электродвигателя при ослабленном потоке.

$\Phi_{\text{мин}} = 0,052 \text{ в.сек}$  - минимальный поток на полюс (ослабление поля);

$\Phi_{\text{н}} = 0,073 \text{ в.сек}$  - номинальный поток на полюс.

$$\omega_{\text{макс.выпр.осл.ф}} = \frac{1}{c_1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\text{мин}}) - 2 \cdot I_d \cdot R_{\text{яц}}) = \frac{1}{4,282} \cdot (422,221 \cdot \cos(20^\circ) - 2 \cdot 860 \cdot 0,035) = 78,59 \text{ рад/с},$$

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики при работе токопроводящей группы в режиме предельного инвертирования.

При номинальном потоке:

$$\omega_{0.\text{инв.норм.ф}} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta)) = \frac{1}{5,97} \cdot (422,221 \cdot \cos(4,7^\circ)) = 70,49 \text{ рад/с},$$

$$\text{где } \delta_1 = \frac{180 \cdot \omega_c \cdot t_{\text{в}}}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{3,14} = 2,7^\circ \quad - \quad \text{угол, соответствующий}$$

времени восстановления запирающих свойств тиристора  $t_{\text{в}}$ .

$t_{\text{в}} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$  - время восстановления запирающих свойств тиристора

$\delta_2 = 2^\circ$  - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления.

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 2 + 2,7 = 4,7^\circ$$

$$\omega_{\text{макс.инв.норм.ф}} = \frac{1}{c} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta) - (\frac{m_{\text{в}}}{\pi} \cdot X_{\text{тр.ф}} - R_{\text{яц}}) \cdot 2,5 \cdot I_{\text{д.и}})$$

$$\omega_{\text{макс.инв.норм.ф}} = \frac{1}{5,97} \cdot (422,221 \cdot \cos(4,7^\circ) - (\frac{6}{3,14} \cdot 0,033 - 0,035) \cdot 2,5 \cdot 860) = 60,38 \text{ рад/с}$$

При ослабленном потоке:

$$\omega_{0.\text{инв.осл.ф}} = \frac{1}{c_1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta)) = \frac{1}{4,282} \cdot \cos(4,7^\circ) = 98,27 \text{ рад/с}.$$

$$\omega_{\text{макс.инв.осл.ф}} = \frac{1}{c_1} \cdot (E_{d0} \cdot \cos(\delta) - (\frac{m_{\text{в}}}{\pi} \cdot X_{\text{тр.ф}} - R_{\text{яц}}) \cdot 2 \cdot I_{\text{д.и}})$$

$$\omega_{\text{макс.инв.осл.ф}} = \frac{1}{4,282} \cdot (422,21 \cdot \cos(4,7^\circ) - (\frac{6}{3,14} \cdot 0,033 - 0,035) \cdot 2 \cdot 860) = 87 \text{ рад/с}$$

На основании расчетных данных строим заданную область

существования электромеханических характеристик при номинальном и ослабленном потоке двигателя (рисунок 10).

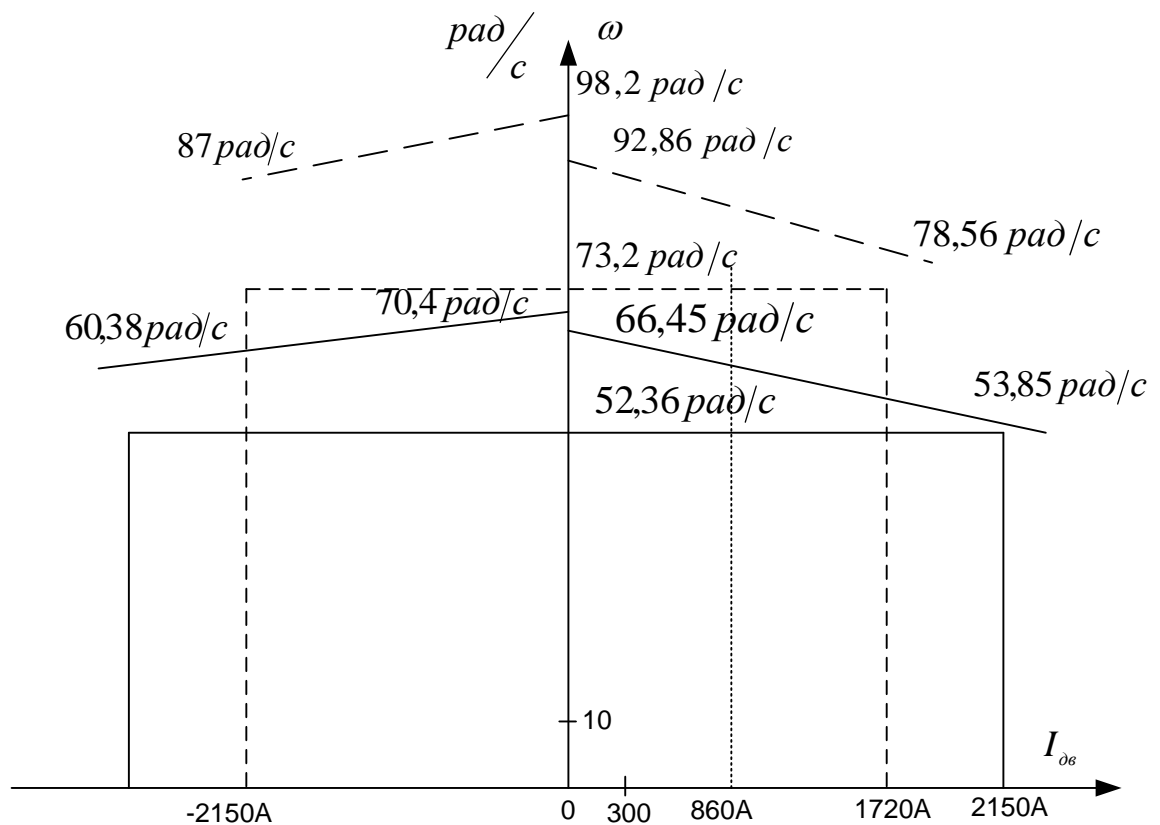


Рисунок 10-Область существования электромеханических характеристик  
Пунктиром показаны характеристики при ослаблении потока.

## 2.4 Электромеханические характеристики системы преобразователь

### - двигатель

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c},$$

где:  $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$  – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

$\alpha$  – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

$\Delta U_{\epsilon}$  – прямое падение напряжение на тиристоре.



Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left( \frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_{\epsilon}}{E_{d0}} \right).$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол  $\alpha$ . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла  $\alpha$  и параметров схемы. Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left( \alpha(\omega) + \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_s} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления  $\alpha$  в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left((\theta_0(\alpha) - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left((\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол  $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_s} = 60$  град – угол проводимости тиристоров;

угол  $\theta$  – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности  $L_{яц}$ . Угол  $\theta$  найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_s}{2 \cdot \pi} \left( \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{zp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах  $\omega = f(I)$  по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_s}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство

электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 11:

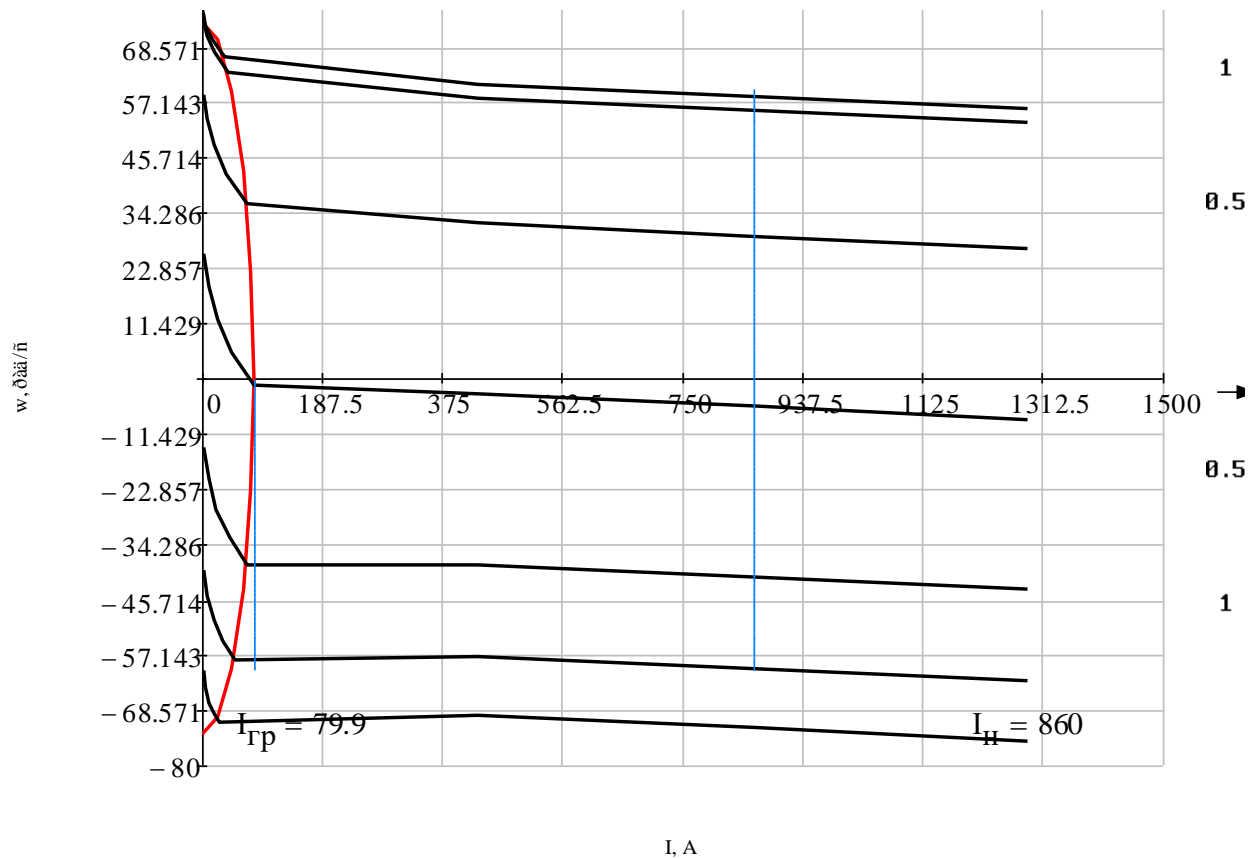


Рисунок 11 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с раздельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол  $\lambda = 60$  град и меняя угол управления  $\alpha$ .

## 2.5 Структурная схема линейризованной САУ

The diagram illustrates a control system for a motor, divided into two main sections: 'Система управления' (Control System) and 'Силовой канал' (Power Channel), separated by a dashed vertical line.

**Система управления (Control System):**

- The input is the reference speed  $U_{3c}$ .
- It passes through a block labeled 'Вх.Ф' (Input Filter).
- The signal is then summed with a feedback signal  $-U_{oc}$  (from the speed feedback loop) at a summing junction.
- The resulting signal  $U_{3T}$  passes through a block labeled 'PC' (Reference Speed Controller).
- The output  $U_{3T}$  is summed with a feedback signal  $-U_{от}$  (from the current feedback loop) at another summing junction.
- The resulting signal  $U_{уп}$  passes through a block labeled 'PT' (Current Controller).
- The output  $U_{уп}$  is summed with a feedforward signal  $k_{noc}$  (from the speed feedback loop) at a third summing junction.
- The resulting signal  $e_{\pi\pi}$  passes through a block labeled  $\frac{k_{\pi\pi}}{T_{\pi\pi} \cdot p + 1}$ .

**Силовой канал (Power Channel):**

- The signal  $e_{\pi\pi}$  is summed with a feedback signal  $-e_{\pi\pi}$  (from the current feedback loop) at a fourth summing junction.
- The resulting signal  $i_a$  passes through a block labeled  $\frac{1/P_{\pi\pi}}{T_{\pi\pi} \cdot p + 1}$ .
- The output  $i_a$  passes through a block labeled 'C' (Current-to-Torque Converter).
- The resulting signal  $M_{\pi\pi}$  is summed with a disturbance signal  $M_c$  at a fifth summing junction.
- The resulting signal  $\phi_{\pi\pi}$  passes through a block labeled  $\frac{1}{J, p}$ .

**Feedback Loops:**

- Speed Feedback Loop (Контур скорости):** The output  $\phi_{\pi\pi}$  is integrated by a block labeled 'Кдс' (Speed Feedback Integrator) to produce the feedback signal  $-U_{oc}$ .
- Current Feedback Loop (Контур тока):** The output  $i_a$  is integrated by a block labeled 'Кдт' (Current Feedback Integrator) to produce the feedback signal  $-U_{от}$ .

## 2.6 Синтез системы автоматического управления электроприводом.

68

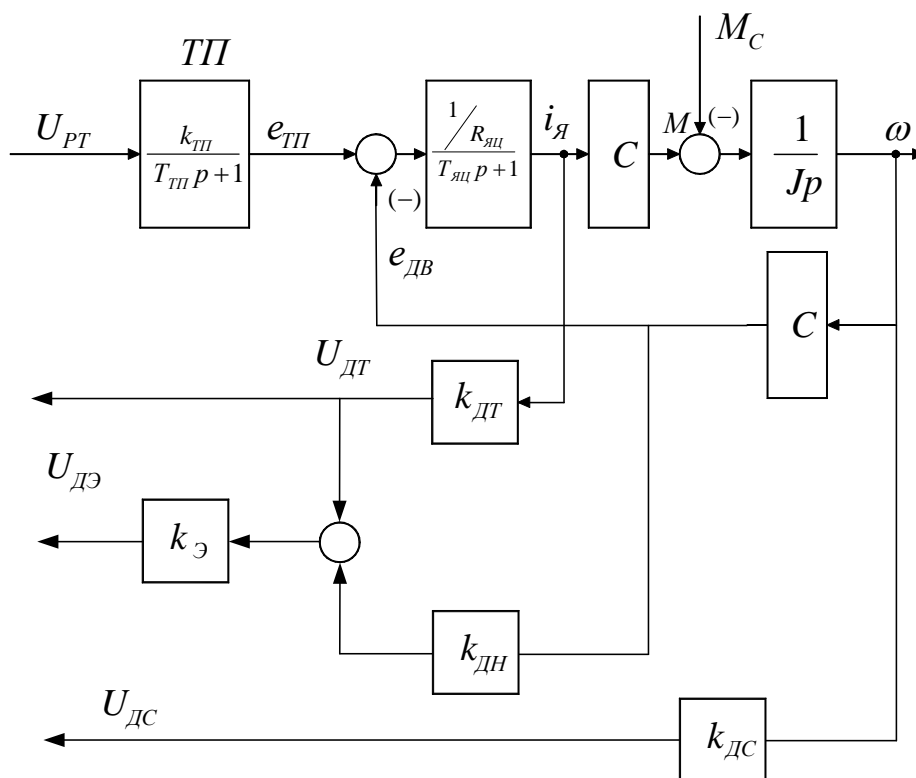


Рисунок 13-Структурная схема силового канала тиристорного электропривода

Методика синтеза много контурных САУ РЭП хорошо разработана для линейных систем. Методика основана на связи показателей качества САУ с формой ЛЧХ разомкнутой системы. Оптимизация достигается за счёт приведения асимптотической ЛАЧХ разомкнутых контуров скорости и тока к рекомендуемому виду. Структура 3 является самой сложной структурой, она представляет собой двухконтурную САУ подчинённого регулирования с ПИ-регуляторами тока и скорости.

В зависимости от вида аппроксимации ТП встречаются два варианта структуры 3:

- 1) Структура 3а: ТП представлен линейным безынерционным звеном ( $T_p = 0$ )
- 2) Структура 3б: ТП представлен инерционным звеном с некоторой фиктивной малой постоянной времени контура тока

$$T_{mля} = \frac{0,5}{m_6 \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167c$$

Синтез структуры проводится без учёта внутренней обратной связи по ЭДС двигателя, предполагается, что она не оказывает влияния или скомпенсирована.

На рисунке (пункт 8) приведена структурная схема линеаризованной САУ РЭП, которая соответствует структуре 36 [4]. Дальнейший расчёт осуществляется для структуры 36 по методике 8 [4]. В ней оптимизируется реакция системы на управляющее воздействие и рекомендуется одна точка настройки F, имеющая следующие коэффициенты оптимальной настройки [4 таблица 3.4, стр.41].

$$a_T = 2; a_c = 2; T_c = 2.$$

Расчётные выражения для оптимальных параметров настройки приведены в [4, таблица 3.3, стр.40]

Определим значение максимальной угловой частоты вращения двигателя

$$\omega_{\max} = \frac{\pi \cdot n_{\max}}{30} = \frac{3.14 \cdot 700}{30} = 73.26 \frac{\text{рад}}{c}$$

### 2.6.1 Контур тока

Контур тока якорной цепи настраиваем на модульный оптимум в соответствии с методикой, изложенной в [3]. В качестве базовой структуры выбрана структура 36 и точка настройки F, имеющая наиболее удовлетворительные показатели в переходном процессе для данного привода (достаточно высокое быстродействие и малое перерегулирование). Передаточная функция ПИ регулятора тока имеет вид:

$$W_{pm}(p) = k_{pm} \frac{T_{pm} \cdot p + 1}{T_{pm} \cdot p}$$

Для данной настройки полоса пропускания САУ РЭП по модулю и по

фазе имеет вид:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.71}{T_{\mu T}} = 425.15 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ или } f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = 67.7 \text{ Гц.}$$

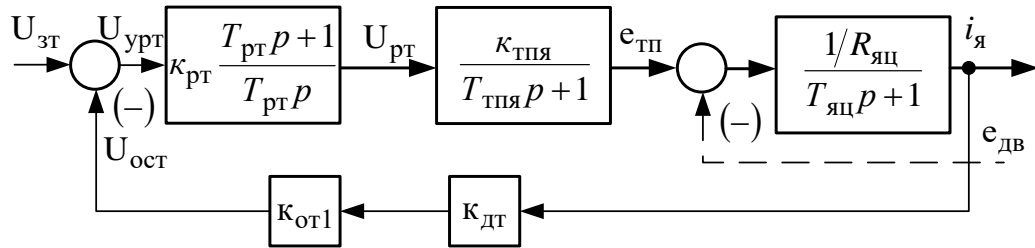


Рисунок 14- Структурная схема контура тока

Коэффициент обратной связи по току двигателя

$$K_T = \frac{U_{\text{РТ.макс}}}{I_{\text{ЭП.макс}}} = \frac{10}{2150} = 0.00465 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{\text{от1}} = \frac{K_T}{K_{\text{ДТ}}} = \frac{0.00465}{0.00392} = 1.186 \frac{\text{В}}{\text{А}}, \text{ - где коэффициент датчика тока } K_{\text{ДТ}} = 0.00392$$

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{\text{РТ}} = T_{\text{яц}} = 0.058 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$K_{\text{РТ}} = \frac{T_{\text{яц}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{я}} \cdot K_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{0.058 \cdot 0.035}{81 \cdot 0.00465 \cdot 2 \cdot 0.00167} = 1.62.$$

$$K_{\text{от2}} = \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{ДТ}}} R_{\text{дв.гор}} = \frac{0.0283}{0.00392} \cdot 0.02 = 0.144 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

$$T_T = a_T T_{\mu} = 2 \cdot 0.00167 = 0.00333 \text{ с.}$$

## 2.6.2 Контур скорости

В качестве датчика скорости используем тахогенератор типа ПТ-22 со следующими параметрами:

$$U_H = 230 \text{ В}; n_H = 1000 \text{ об/мин.}$$

Тогда коэффициент передачи тахогенератора составляет

$$\omega_{н.тг} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Коэффициент обратной связи по скорости равен

$$k_c = k_{oc} \cdot k_{\partial c} = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{10}{73,2} = 0,1366 \text{В} \cdot \text{с}$$

Примем  $k_{тг} = k_{дс}$ . тогда коэффициент обратной связи регулятора скорости равен

$$k_{oc} = \frac{k_c}{k_{тг}} = \frac{0,1366}{2,196} = 0,0622.$$

Для оптимизации контура скорости по структуре 3б примем

$$W(p)_T = \frac{1/K_T}{T_T p + 1}$$

Тогда для оптимизации контура скорости по МО выбираем ПИ-РСс коэффициентом усиления в первом приближении

$$k_{pc} = \frac{J_3 / 2 \cdot k_m}{c \cdot k_c \cdot a_m \cdot (T_m \cdot T_{\partial s})} = \frac{312,5 / 2 \cdot 0,004651}{0,1366 \cdot 5,97 \cdot 2 \cdot (0,00333 + 0,018)} = 20,8$$

$$\text{Где } T_{\partial s} = \frac{L_{\partial s}}{R_{\partial s.зоп}} = \frac{0,0003664}{0,02} = 0,018 \text{с-постоянная времени двигателя.}$$

Постоянная времени регулятора скорости равна

$$T_{pc} = 8T_{ц} = 8 \cdot 0,00167 = 0,01336 \text{с.}$$

### 2.6.3 Контур тока возбуждения

В качестве тиристорного преобразователя в цепи возбуждения двигателя используется встроенный тиристорный мост, включенный по схеме полууправляемого двухполупериодного выпрямителя.

Для контура возбуждения приведём список параметров, необходимых для дальнейшего расчёта.

Линейное напряжение цепи возбуждения двигателя  $U_{л.в.} = 380 \text{В}$ ;

Начальный угол управления тиристорного преобразователя цепи возбуждения  $\alpha_{нач} = 130^\circ$



Минимальный угол управления тиристорного преобразователя цепи возбуждения  $\alpha_{\min} = 20^\circ$

Индуктивность цепи основного потокосцепления найдём из формулы

$$L_\phi = 2p \cdot W_\phi \frac{\Phi_n - \Phi_{\min}}{I_{\phi.n} - I_{\phi.\min}} = 2 \cdot 3 \cdot 715 \cdot \frac{0,0725 - 0,052}{6,7 - 4,4} = 37,4881 \text{ Гн}$$

Где  $p$ -число пар полюсов обмотки якоря.

Тангенс угла наклона кривой намагничивания равен.

$$K_\phi = \frac{\Phi_n - \Phi_{\min}}{I_{\phi.n} - I_{\phi.\min}} = \frac{0,0725 - 0,052}{6,7 - 4,4} = 0,008913 \text{ Гн}$$

Магнитный поток рассеивания равен

$$\Phi_{s.n} = \Phi_n \cdot (\sigma - 1) = (1,18 - 1) \cdot 0,0725 = 0,013 \text{ Вб}$$

Индуктивность цепи потока рассеяния равна

$$T_\phi = \frac{L_\phi}{R_{\text{ув}}} = \frac{37,488}{24,702} = 1,518 \text{ с}$$

Постоянная времени основного потокосцепления равна

$$T_s = \frac{L_s}{R_{\text{ув}}} = \frac{8,192}{24,702} = 0,332 \text{ с}$$

Постоянная времени контура вихревых токов равна

$$T_k = 0,1 \cdot T_\phi = 0,1 \cdot 1,518 = 0,1518 \text{ с.}$$

Настройка контура тока возбуждения ведётся на модульный оптимум

Определим малую и большую постоянную времени обмотки возбуждения из выражений

$$T_3 = \frac{T_\phi + T_s + T_k}{2} + \sqrt{\left(\frac{T_\phi + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_k}$$

$$T_3 = \frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2} + \sqrt{\left(\frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2}\right)^2 - 0,332 \cdot 0,1518} = 1,977 \text{ с.}$$

$$T_4 = \frac{T_{\epsilon} + T_s + T_k}{2} - \sqrt{\left(\frac{T_{\epsilon} + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s + T_k}$$

$$T_4 = \frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2} - \sqrt{\left(\frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2}\right)^2 - 0,332 \cdot 0,1518} = 0,0255c.$$

Определим постоянную времени цепи возбуждения

$$T_{ц.в.} = T_3 + T_4 = 1,977 + 0,0255 = 2,0025c.$$

Постоянная времени регулятора тока возбуждения равна постоянной времени цепи возбуждения

$$T_{птв} = T_{цв}$$

ЭДС тиристорного преобразователя цепи возбуждения равна

$$E_{ТПВ} = \frac{U_{л.в.}}{K_{U2.B}} = \frac{380}{1,11} = 342,34B$$

Коэффициент тиристорного преобразователя цепи возбуждения равен

$$K_{ТПВ} = \frac{E_{ТПВ} \cdot (\alpha_{нач.в} - \alpha_{мин.в})}{U_y \cdot \pi \cdot \frac{2}{3}} = \frac{342,34 \cdot (130 - 20)}{10 \cdot 180 \cdot \frac{2}{3}} = 31,38B$$

Постоянная времени тиристорного преобразователя цепи возбуждения равна

$$T_{птв} = \frac{0,5}{m_{в.в.} \cdot f_c} = \frac{0,5}{2 \cdot 50} = 0,005c$$

где  $m_{в.в.}$  - количество фаз питающей сети цепи обмотки возбуждения

Коэффициент обратной связи регулятора тока цепи возбуждения равен

$$K_{отв} = \frac{U_y}{I_{вн}} = \frac{10}{6,7} = 1,493 \frac{B}{A}$$

Коэффициент датчика тока возбуждения равен

$$K_{дтв} = \frac{U_y}{I_{нр.н}} = \frac{10}{10} = 1 \frac{B}{A}$$

где  $I_{нр.в.}$  - номинальный ток тиристорного преобразователя цепи возбуждения.

Некомпенсируемая малая постоянная времени цепи обмотки возбуждения равна.

$$T_{\mu\Gamma\Gamma\Gamma} = T_{\Gamma\Gamma\Gamma} + T_4 + \sum \tau = 0.005 + 0.0255 = 0.0305 \text{с}$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи контура тока возбуждения равен

$$K_{\text{дтв}} = K_{\text{отв}} \cdot K_{\text{дтв}} = 1,493 \cdot 1 = 1,493 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Определим коэффициент усиления регулятора тока возбуждения

$$K_{\text{рив}} = \frac{T_{\text{рив}} \cdot R_{\text{ц.в}}}{K_{\text{тв}} \cdot K_{\text{дтв}} \cdot a_{\text{тв}} \cdot T_{\mu\Gamma\Gamma\Gamma}} = \frac{2,001 \cdot 24,702}{18,168 \cdot 1,493 \cdot 0,0305} = 17,29$$

## 2.6.4 Контур ЭДС цепи возбуждения двигателя

Структурная схема контура ЭДС в первом приближении может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке 15, где обозначено

$$W_{m.y.zamk}(p) = \frac{(1/k_m) \cdot (T_{\kappa} p + 1)}{a_{m\phi} T_{\mu\phi}^2 p^2 + a_{m\phi} T_{\mu\phi} p + 1}$$

- передаточная функция оптимизированного замкнутого по управлению контура тока возбуждения двигателя.

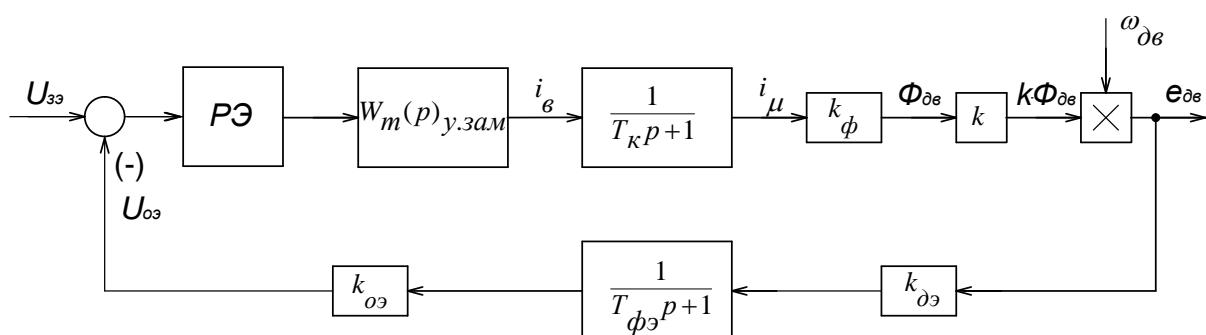


Рисунок 15 - Структурная схема контура ЭДС двигателя

После преобразования структурная схема примет вид, приведенный на рисунке 16.

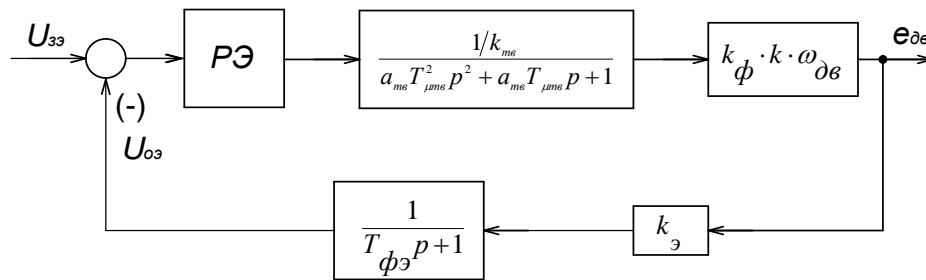


Рисунок 16. - Структурная схема контура ЭДС двигателя после преобразования

Коэффициент датчика напряжения равен

$$\kappa_{\text{дн}} = \frac{U_y}{U_{\text{нр.н}}} = \frac{10}{420} = 0,0238 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Постоянная времени фильтра в цепи обратной связи по ЭДС равна

$$T_{\text{ф.н.}} = T_{\text{дв}} = 0,018 \text{ с.}$$

Найдём тангенс угла наклона кривой намагничивания цепи обмотки возбуждения

$$K_{\text{ф.н.}} = \frac{\Phi_{\text{н}}}{I_{\text{в.н}}} = \frac{0,0725}{6,7} = 0,0108 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

$$T_{\text{тэ}} = 2 \cdot T_{\text{мэ}} = 2 \cdot 0,0305 = 0,061 \text{ с.}$$

Найдём коэффициент передачи потока возбуждения

$$K = \frac{C_{\text{н}}}{\Phi_{\text{н}}} = \frac{5,97}{0,0725} = 82,34 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Для определения коэффициента усиления регулятора тока возбуждения необходимо найти коэффициент обратной связи по ЭДС. Тогда коэффициент обратной связи по ЭДС равен

$$\kappa_{\text{дэ}} = \frac{U_{\text{эр.макс}}}{E_{\text{дв.макс}}} = \frac{10}{312,572} = 0,032,$$

$$\kappa_{\text{э}} = \frac{U_{\text{э.н}}}{E_{\text{дв.н}}} = \frac{10}{312.572} = 0.032,$$

$$\kappa_{\text{оэ}} = \frac{\kappa_{\text{э}}}{\kappa_{\text{дэ}}} = \frac{0.032}{0.032} = 1$$

тогда коэффициент усиления регулятора ЭДС контура возбуждения в первом приближении равен

$$\kappa_{\text{рз}} = \frac{\kappa_{\text{тв}}}{\kappa_{\text{ф}} \cdot \kappa \cdot \omega_{\text{осл}} \cdot a_{\text{э}} \cdot T_{\text{тэ}}} = \frac{1.493}{0.0108 \cdot 82.34 \cdot 73.2 \cdot 2 \cdot 0.061} = 0.1887$$

Построение ЛЧХ замкнутого контура ЭДС САУ РЭП

Передаточная функция разомкнутого контура скорости оптимизированной двухконтурной САУ электропривода имеет вид

$$W_{\text{с.раз}}(p) = \frac{(T_{\text{рс}} \cdot p + 1)}{(b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}}^2 \cdot T_{\text{т}}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\text{т}} \cdot p + 1))} = \frac{(0.0132 + 1)}{(2.93 \cdot 10^{-7} \cdot p + 8.8 \cdot 10^{-5} \cdot p^2)}.$$

Передаточная функция по возмущению замкнутого контура ЭДС оптимизированной двухконтурной САУ электропривода имеет вид

$$W_{\text{с.зам.603М}}(p) = \frac{\frac{c}{J_{\text{э}}} \cdot b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}}^2 \cdot T_{\text{т}}^2 \cdot p \cdot (T_{\text{т}} \cdot p + 1)}{(b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}}^2 \cdot T_{\text{т}}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\text{т}} \cdot p + 1) + (T_{\text{рс}} \cdot p + 1))} = \frac{\frac{5.97}{312.5} \cdot 2 \cdot 2^2 \cdot 0.0033^2 \cdot p \cdot (0.0033 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0.0033^2 \cdot p^2 \cdot (0.0033 \cdot p + 1) + (0.00132 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{5.59 \cdot 10^{-9} \cdot p^3 \cdot 1.69 \cdot 10^{-6} \cdot p^2}{2.87 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.71 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0.0132 \cdot p + 1}$$

Передаточная функция по управлению замкнутого контура ЭДС оптимизированной двухконтурной САУ электропривода без фильтра на входе имеет вид

$$\begin{aligned}
 W_{с.зам.б.фильтра}(p) &= \frac{\frac{1}{K_C} \cdot (T_{PC} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c^2 \cdot T_T^2 \cdot p^2 \cdot (T_T \cdot p + 1) + (T_{pc} \cdot p + 1)} \\
 &= \frac{\frac{1}{0,032} \cdot (0,0132 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,00333^2 \cdot p^2 \cdot (0,0033 \cdot p + 1) + (0,00132 \cdot p + 1)} = \\
 &= \frac{0,425 \cdot p + 1}{2,87 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,71 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,0132 \cdot p + 1}
 \end{aligned}$$

Ожидаемые логарифмические частотные характеристики двухконтурной САУ электропривода (программа MatLab) приведены на рисунках 17 -18.

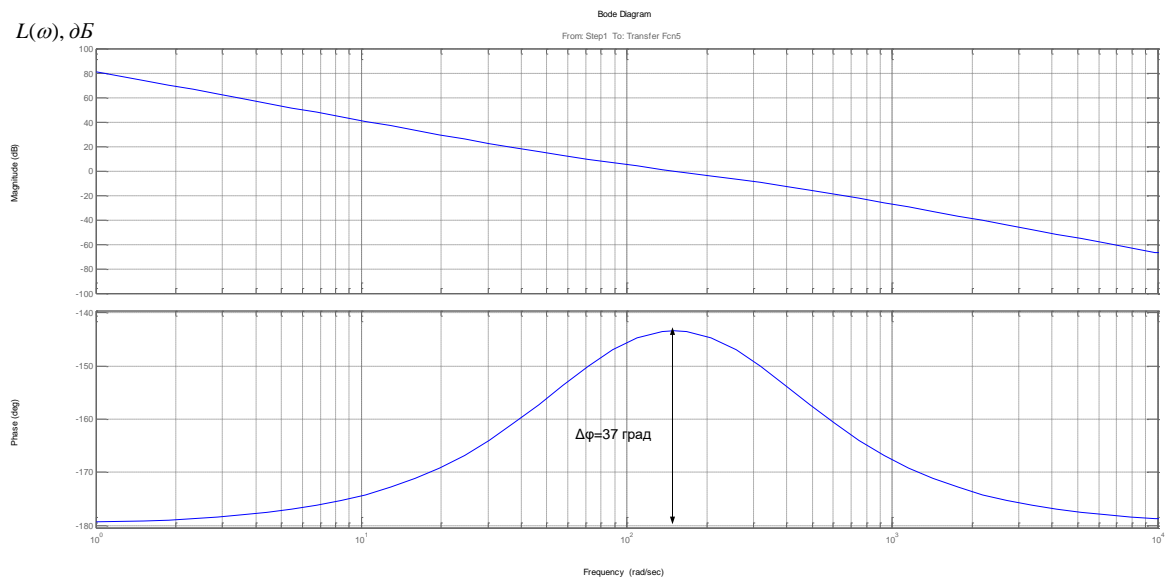


Рисунок 17 - Логарифмические амплитудно-частотные характеристики разомкнутого контура скорости.

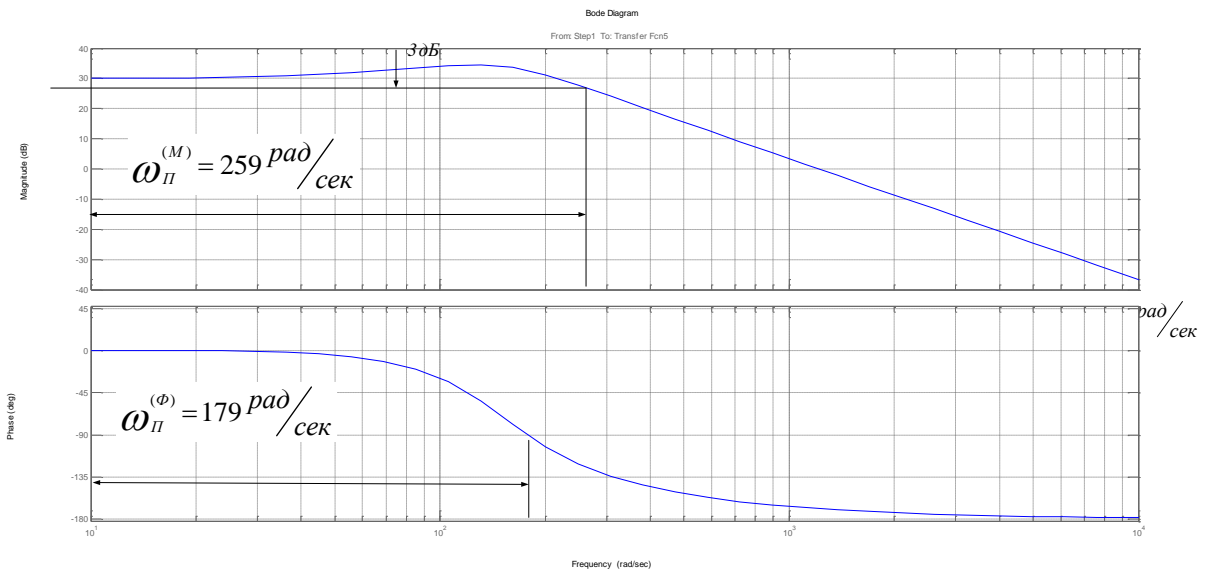


Рисунок 18 - Логарифмические амплитудно-частотные характеристики замкнутого контура скорости без фильтра.

По ЛЧХ замкнутого контура скорости без фильтра находим значение частоты пропускания контура

$$f_n^{(M)} = \frac{\omega_n^{(M)}}{2\pi} = \frac{259}{2\pi} = 41,2 \text{ Гц}.$$

$$f_n^{(\phi)} = \frac{\omega_n^{(\phi)}}{2\pi} = \frac{179}{2\pi} = 28,49 \text{ Гц}.$$

Из построенных ЛАЧХ и ЛФЧХ видим, что привод имеет достаточный запас устойчивости по модулю и по фазе.

## 2.7 Нелинейная САУ РЭП

### 2.7.1 Анализ основных нелинейностей электропривода

Основными нелинейностями двухзонного тиристорного электропривода являются:

- насыщение всех регуляторов, выходное напряжение которых ограничено на уровне  $(11 \div 12) \text{ В}$  при напряжении источников питания

операционных усилителей  $\pm 15B$ . Принимаем при моделировании  $U_{рег. макс} = \pm 10B$ ;

- ограничение углов управления тиристорных преобразователей, при моделировании это учитывается ограничением выходной ЭДС преобразователя

- ограничение тока якорной цепи, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости

- реактивный характер момента нагрузки, который определяется выражением  $M_c(\omega) = M_c \cdot \text{sign } \omega$ ;

- нелинейная зависимость потока двигателя от тока возбуждения, которая определяется кривой намагничивания двигателя;

- специфические свойства тиристорного преобразователя, которое проявляется в дискретности управления, односторонней проводимости, нелинейности регулировочных характеристик. Указанные свойства будут играть существенную роль при управлении двигателем со стороны якоря и малосущественную – при управлении со стороны обмотки возбуждения двигателя. Здесь важным является то, как эффективно гасятся поле двигателя в зоне ослабления поля возбуждения.

### 2.7.2 Структурная схема нелинейной САУ ЭП

Полная структурная схема двухзонного электропривода клетки приведена на рисунке 19.

Электропривод имеет две системы автоматического управления: САР скорости с ПИ-РС и ПИ-РТЯ и САР напряжения двигателя с П-РЭ и ПИ-РТВ.



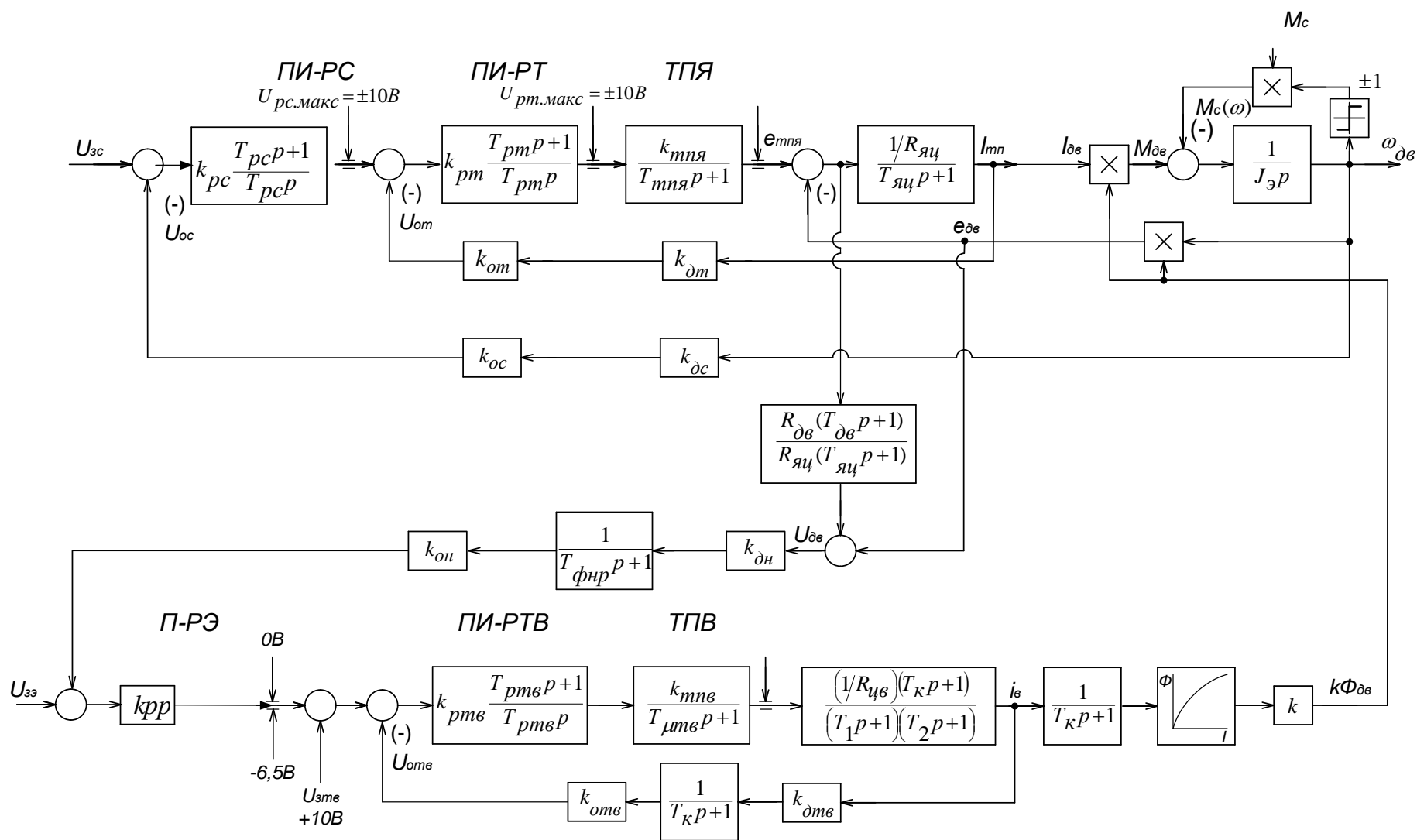


Рисунок 19 – Структурная схема САУ ЭП

### 2.7.3 Исследование электропривода на имитационных моделях

Исследования электропривода при работе в двух зонах регулирования реализовано

Расчет переходных процессов в системах регулируемого двухзонного электропривода постоянного тока нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный, выполненного по структурной многоконтурной схеме с последовательной коррекцией, выполняется методом имитационного моделирования с помощью программы Matlab. Программа воспроизводится методом имитационного численного моделирования переходных процессов в аналоговых нелинейных системах регулируемого электропривода при типовых задающих и возмущающих воздействиях. Она позволяет в широких пределах варьировать структуру и значения параметров элементов САУ, выводить результаты расчетов в виде графиков, по которым определяются динамические качества.

Схема модели двухзонного электропривода представлена на рисунке 19

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 21-23.

Переходные процессы рассчитываются и строятся при помощи программы Матлаб.

Структурная схема набора модели приведены на 20

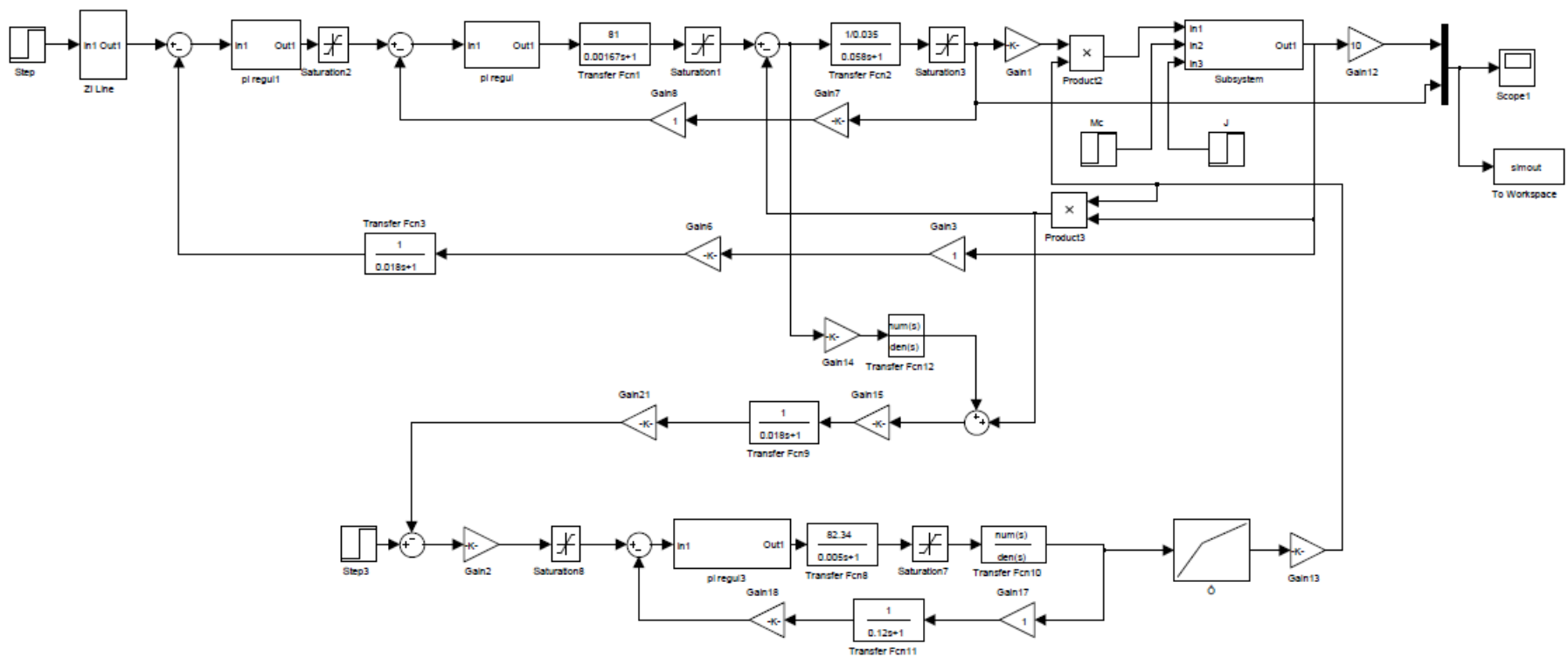


Рисунок 20 – Схема набора модели в программе Matlab.

В данной выпускной квалификационной работе электропривод главного скипового подъёма доменной печи представлен одностепенной системой. При построении переходных процессов на единичное воздействие был задан начальный момент, равный стартовому статическому моменты при движении скипа с коксом.

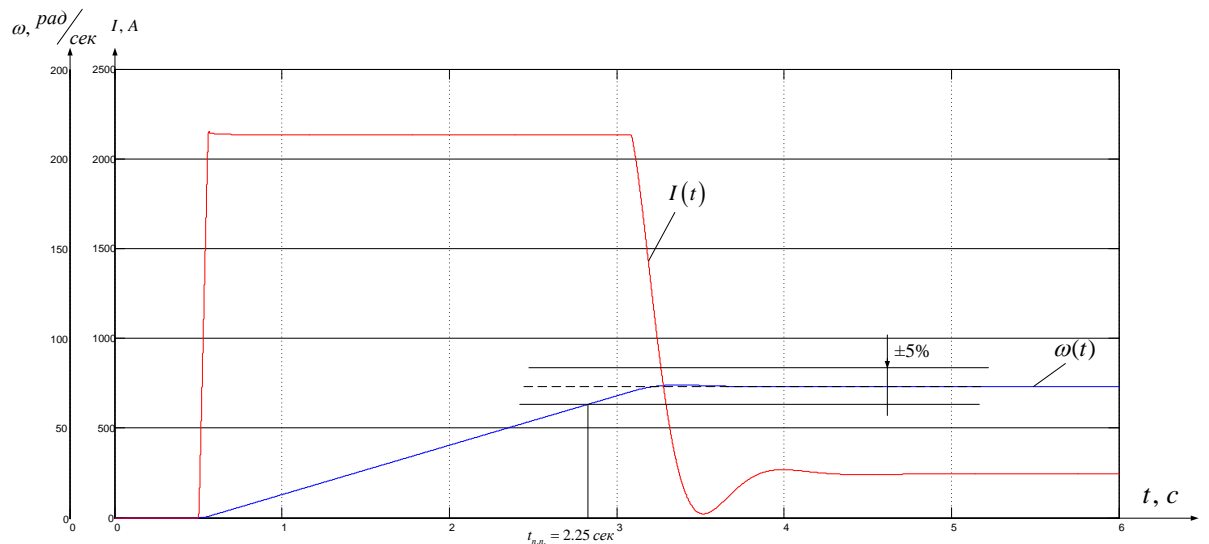


Рисунок 21 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 10В.  $M_c = 1453 \text{ Н*м}$ ,  $I_{баз} = 2150 \text{ А}$ ,  $\omega_{баз} = 73,2 \text{ рад/с}$ .

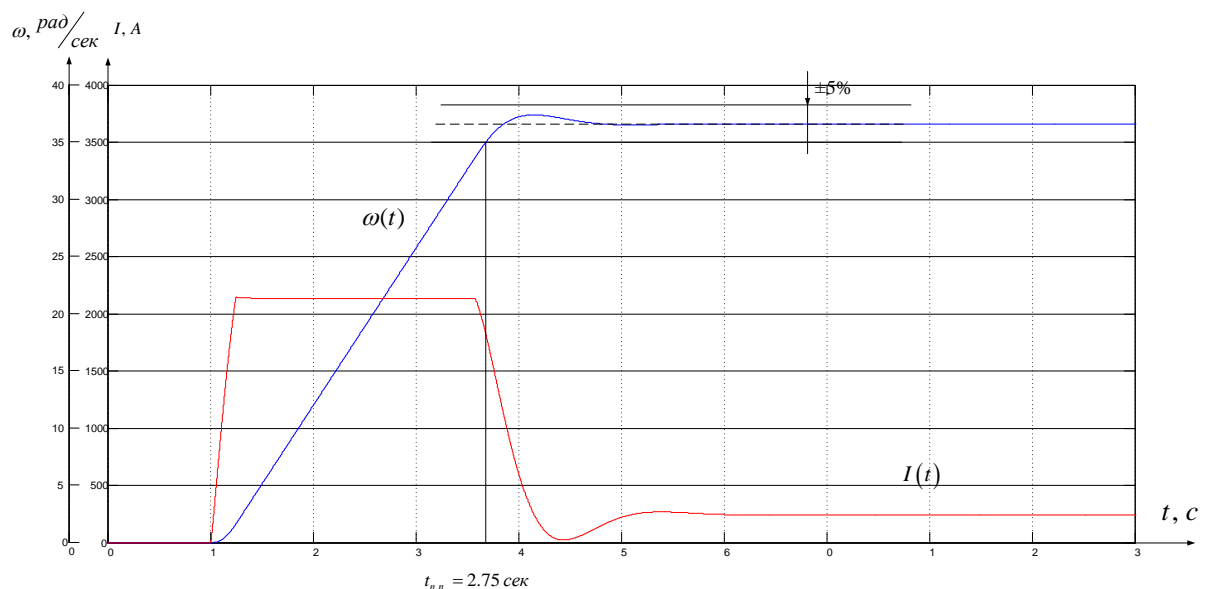


Рисунок 22 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 5В.  $M_c = 1453 \text{ Н*м}$ ,  $I_{баз} = 2150 \text{ А}$ ,  $\omega_{баз} = 36,6 \text{ рад/с}$ .

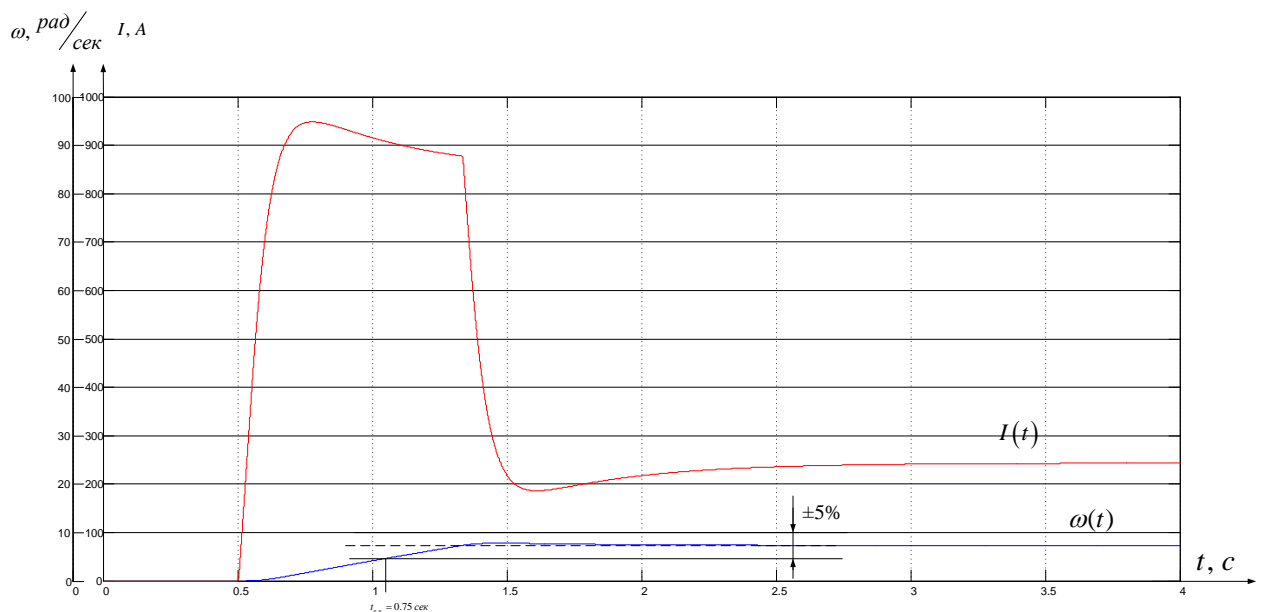


Рисунок 23 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 1В.  $M_c = 1453 \text{ Н*м}$ ,  $I_{\text{баз}} = 750 \text{ А}$ ,  $\omega_{\text{баз}} = 7.32 \text{ рад/с}$ .

Из графиков переходных процессов видим, что перерегулирование основной координаты при единичном воздействии при различных уровнях задания равно 0, что обеспечивается введением фильтра на входе системы. Время переходного процесса при максимальном единичном воздействии составляет 2 сек., что удовлетворяет требованиям данного класса систем.

#### 2.7.4 Расчет статических характеристик

ДПТ управляется по цепи обмотки якоря изменением напряжения.

Следовательно, при постоянном потоке двигателя, механические и электромеханические характеристики совпадают для различных ЭДС. Причём

$$E_{\text{тп}} = K_{\text{рз}} \cdot K_{\text{рт}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot U_{\text{зс}} ;$$

Предположим, что двигатель работает на характеристике с  $E_{\text{тп2}}$  и нагрузкой  $M_{\text{с1}}$ , то есть, в точке А. Предположим также, что нагрузка на валу двигателя возросла и стала равной  $M_{\text{с2}}$ . В первый момент скорость двигателя падает. Уменьшается в этом случае и сигнал, пропорциональный ЭДС двигателя, так как

$$E_{\text{дв}} = c \cdot \omega$$

В реальном приводе сигнал, пропорциональный  $E_{\text{дв}}$  формируется более сложно с помощью датчиков тока и напряжения якорной цепи, однако в любом случае если система настроена правильно, сигнал по  $E_{\text{дв}}$  пропорционален скорости двигателя (при постоянном потоке двигателя).

Если в первом приближении не учитывать сигнал обратной связи по току

$U_{\text{от}}$ , действующий на вход регулятора тока, то  $E_{\text{тп}}$  можно определить по формуле

$$e_{\text{нг}} = (U_{\text{рс}} - U_{\text{рс}}) \cdot K_{\text{рз}} \cdot K_{\text{рт}} \cdot K_{\text{тп}}$$

Как следует из этого уравнения, уменьшение сигнала обратной связи по ЭДС приводит к увеличению ЭДС тиристорного преобразователя. Привод переходит с  $E_{\text{тп}} = E_{\text{тп3}}$  (т.е в точку В) и так далее. В результате формируется характеристика замкнутой системы более жёсткая, чем характеристика разомкнутой системы.

Для вывода уравнения электромеханической характеристики электропривода составим систему уравнений, которые описывают электропривод в статике.

*В режиме стабилизации скорости*

В режиме стабилизации скорости составит систему уравнений.

$$U_{ypc} = U_3 - U_{oc}; \quad (1)$$

$$U_{pc} = k_{pc} \cdot U_{ypc}; \quad (2)$$

$$U_{ypm} = U_{pc} - U_{om}; \quad (3)$$

$$U_{om} = k_{\partial m.cm} \cdot k_{om.cm} \cdot I_{mn}; \quad (4)$$

$$U_{oc} = k_{\partial c} \cdot k_{oc} \cdot \omega; \quad (5)$$

$$U_{pm} = k_{pm} \cdot U_{ypm}; \quad (6)$$

$$e_{mn} = k_{mn} \cdot U_{pm}; \quad (7)$$

$$U_{mn} = e_{mn} - I_{mn} \cdot R_{mn}; \quad (8)$$

$$U_{mn} = U_{\partial \delta}; \quad (9)$$

$$U_{\partial \delta} = E_{\partial \delta} + I \cdot R_{\partial \delta}; \quad (10)$$

$$E_{\partial \delta} = c \cdot \omega. \quad (11)$$

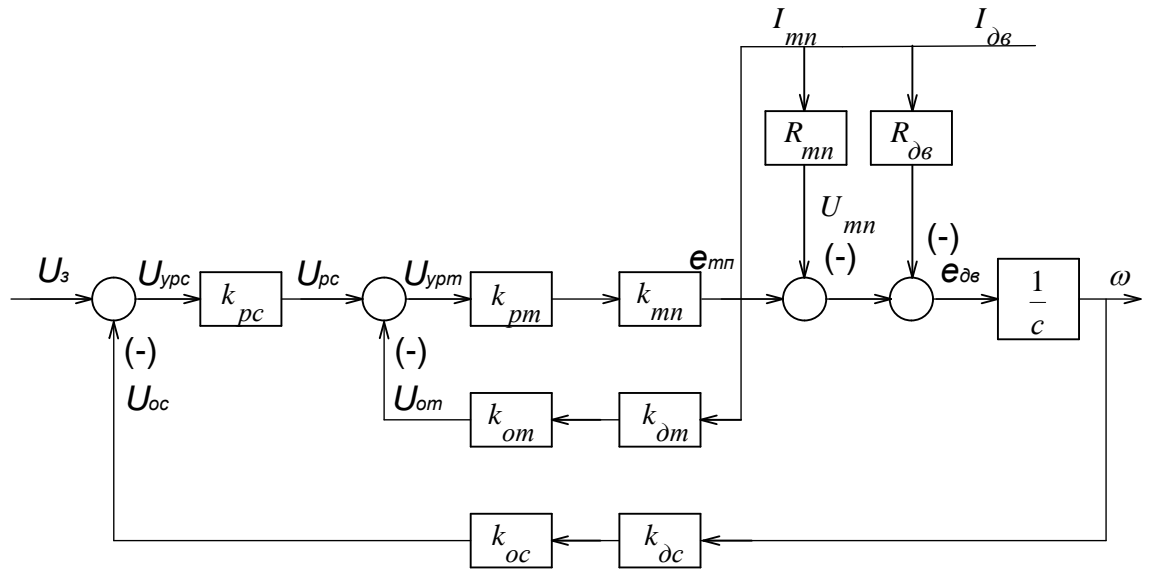


Рисунок 24. - Структурная схема электропривода в режиме стабилизации скорости

Решим систему уравнений 1-12 относительно угловой скорости  $\omega$ , получим:

$$\omega = \frac{k_{\partial} \cdot k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pc} \cdot U_{3c}}{1 + k_{\partial} \cdot k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pc} \cdot k_{oc} \cdot k_{\partial c}} - I_{\partial \delta} \cdot \frac{k_{\partial} \cdot (2R_{\partial \delta} + R_{mn} + k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{\partial m} \cdot k_{om})}{2 \cdot (1 + k_{\partial} \cdot k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{pc} \cdot k_{oc} \cdot k_{\partial c})}, \quad (13)$$

где  $k_\partial = \frac{1}{c}$  – коэффициент двигателя;

Особенностью при анализе статических характеристик в режиме стабилизации скорости является то, что значения коэффициентов астатических регуляторов тока и скорости является принятие их коэффициентов максимальными. Для данной системы примем коэффициенты регуляторов равными  $K_{рс} = 20000$ , а  $K_{рт} = 65530$ .

### *В режиме стабилизации тока*

Анализ статики в режиме стабилизации тока проводим из условия что регулятор скорости вошёл в насыщение. Для анализа составим модель, которая показана на рисунке 25.

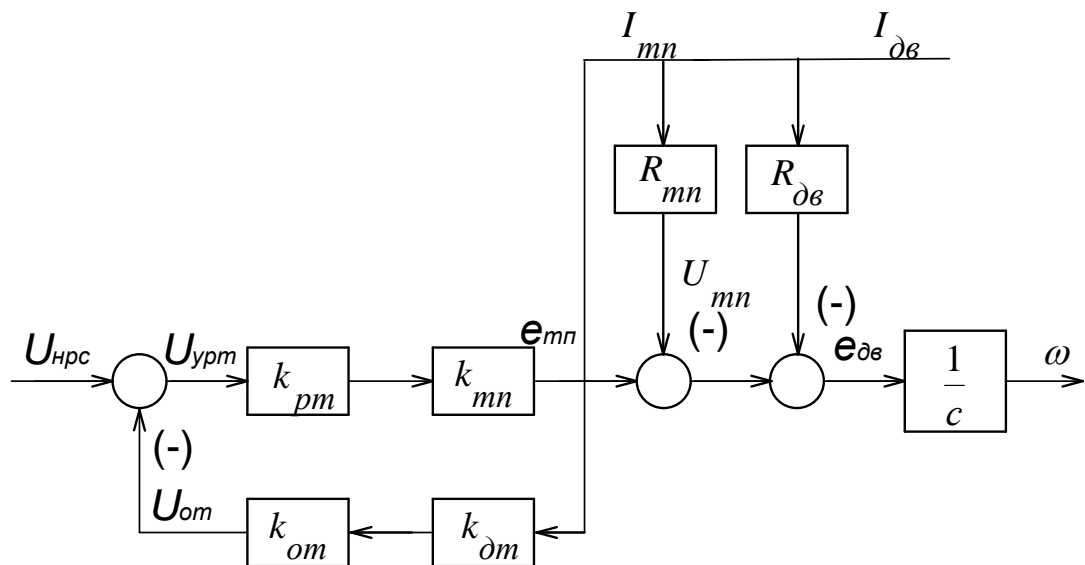


Рисунок 25 – Структурная схема электропривода в режиме стабилизации тока

$$U_{урт} = U_{рс.макс} - U_{ом}; \quad (15)$$

$$U_{ом} = k_{дм} \cdot k_{ом} \cdot I_{мн}; \quad (16)$$

$$U_{рм} = k_{рм} \cdot U_{урт}; \quad (17)$$

$$e_{мн} = k_{мн} \cdot U_{рм}; \quad (18)$$



$$U_{mn} = e_{mn} - I_{mn} \cdot R_{mn} \quad (19)$$

$$U_{mn} = U_{\partial\partial}; \quad (20)$$

$$U_{\partial\partial} = e_{\partial\partial} + I_{\partial\partial} \cdot R_{\partial\partial}; \quad (21)$$

$$E_{\partial\partial} = c \cdot \omega. \quad (22)$$

Решая систему уравнений 13-19 получим:

$$\omega = k_{\partial} \cdot k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot U_{pc.макс} - I_{\partial\partial} \cdot k_{\partial} (2 \cdot R_{\partial\partial} + R_{mn} + k_{mn} \cdot k_{pm} \cdot k_{\partial m} \cdot k_{om}) \quad (23)$$

На основании методики, проведём расчёт статических характеристик электропривода. Данные расчёта сведём в таблицу 3.

Таблица 3 Расчётные данные для построения статических характеристик

$\begin{matrix} I, A \\ U3, B \end{matrix}$	0	860	2150	8, %
1	7,319	7,317	7,315	0,05
2,5	18,296	18,295	18,293	0,02
5	36,593	36,591	36,589	0,0099
7,5	54,889	54,888	54,886	0,0053
10	73,186	73,184	73,183	0,00399

По данным таблицы 6 на рисунке 26 построены электромеханические характеристики электропривода в режиме стабилизации скорости. Рассчитанные точки нанесены на графики характеристик в виде звездочек.

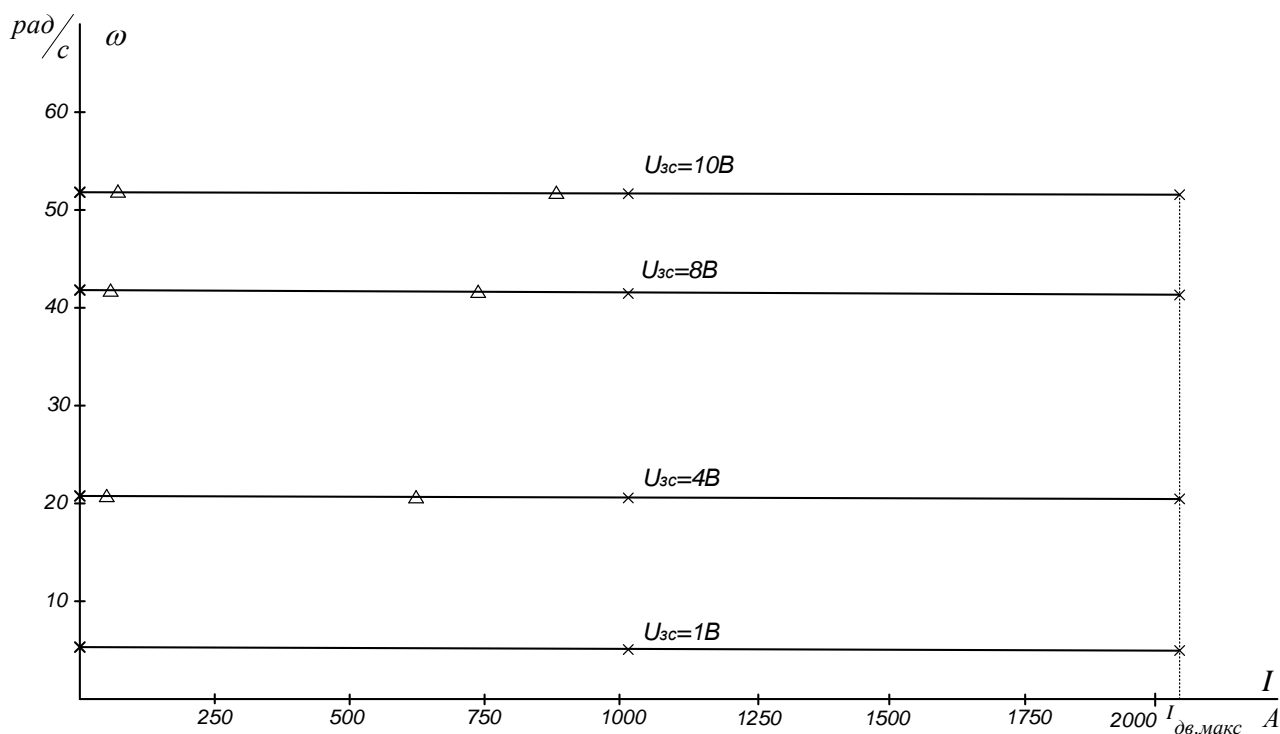


Рисунок 26 – График электромеханической характеристики

Как следует из таблицы 6 погрешность поддержания скорости на нижней регулировочной характеристике с  $U_{zc} = 1В$  составляет 0,05%, что соответствует требованиям технологического процесса прокатки металла в чистовой группе клеток и требованиям технического задания.

## 2.8 Принципиальная электрическая схема.

### 2.8.1 Принципиальная электрическая схема. Согласование с сетью. Интеграция в схему автоматизации технологического процесса

Принципиальная схема представлена на устройство электропривода SIMOREG на ток свыше 630А выполняется в виде блока электроники (собственно устройство SIMOREG), включающий помимо схемы управления электроприводом тиристорный преобразователь тока возбуждения, электропривод вентилятора охлаждения и блок SITOP, который представляет собой реверсивную мостовую схему выпрямления тока якоря.

Питание блок электроники, вентилятора и возбудителя осуществляется

индивидуально включением соответствующих автоматических выключателей QF2, QF3, QF4, которые помимо функции коммутации цепей осуществляют их защиту от токов короткого замыкания и перегрузки.

Согласование с сетью производится посредством силового трансформатора, выбранного в п. 7.3. Коммутация цепей силового трансформатора по высокой стороне осуществляется масляным выключателем QF1.

Система построена таким образом, что постоянно один преобразователь находится в резерве, а два находятся в работе. Выбор рабочих преобразователей производится рубильниками QS1, QS2 (якорная цепь) и QS3, QS4 (цепь обмотки возбуждения). Блок - контакты рубильников заведены в контроллер.

Управление механическими тормозами - релейно-контакторное, с управлением через контроллер. Данные на управление тормозами контроллер получает от тиристорного преобразователя (параметры P080, P086, P087) через интерфейс RS232 (разъём X501).

SA1 - ключ-бирка на панели, SA2 - SA4 - аварийные выключатели в скиповой яме, машинном зале и на посту местного управления.

SA5 - ключ обхода защиты от слабины канатов на посту местного управления. Концевые выключатели, контролирующие наличие слабины канатов находятся под барабаном лебёдки.

SA6 - ключ обхода защиты от перехода за предел левого и правого скипа на посту местного управления. Защита от перехода за предел левого и правого скипа формируется механическим путевым выключателем, отстроенным на срабатывание в крайних точках допустимого пути скипов.

Так как тиристорный преобразователь полностью цифровой и имеет множество средств коммуникации с внешними устройствами, такими, как контроллер типа SIMATIC, на базе которых в данное время строится вся автоматизация технологического процесса, интеграция привода в технологическую цепь производится программно с помощью

алгоритмической обработки данных, получаемых от преобразователя через аналоговые и двоичные выходы, а так же через шину SINEСи промежуточный контроллер непосредственного управления приводом. Для повышения надёжности управления работой привода имеет смысл применение дублирования сигналов, поступающих в контроллер управления приводом с аналоговых и двоичных выходов основным технологическим контроллером.

Данный привод, имея двухдвигательную структуру, построен по принципу "ведущий - ведомый". Передача главного заданного значения для ведомого привода осуществляется через интерфейс RS485 (разъём X500), а инициализация приоритета "ведомый - ведущий" осуществляется через параметр P500.

Подключение тахогенератора производится к клеммам 101 и 104.

### **2.8.2 Описание. Защиты и блокировки.**

Тиристорные преобразователи SIMOREGK типа 6RA24 представляют собой компактные цифровые приборы для трёхфазного подключения и предназначены для питания якоря и поля возбуждения регулируемых приводов постоянного тока с нормативными токами для якоря от 15А до 1200А. благодаря параллельному подключению компактных приборов с блоками SITORвозможны токи до 3600А.

Тиристорные преобразователи SIMOREGK отличаются компактным построением. Подключение к внешним сигналам (двоичные входы/выходы, аналоговые входы/выходы и т.д) производится на отдельном клеммном блоке.

Параметризация устройства SIMOREGK производится через находящееся на электронном модуле простое табло управления посредством трёх кнопок, а так же при помощи персонального компьютера и программного обеспечения SIMOVIS.

Преобразователь SIMOREGK имеет 980 параметров, характеризующих его работу. Одними из основных являются следующие группы параметров:

- Дефиниция устройства SIMOREG K;
- Дефиниция параметров двигателя;
- Дефиниция опции "Интерфейс двигателя".

К первой группе относятся:

P070 - тип управляющего модуля (деление по питающему напряжению);

P071 - номинальное напряжение устройства;

P072 - номинальный ток устройства (преобразователь);

P073 - номинальный ток устройства (возбудитель);

Ко второй группе параметров относятся:

P100 - ток якоря двигателя (по фирменному щитку);

P101 - напряжение якоря двигателя (по фирменному щитку);

P102 - ток возбуждения двигателя (по фирменному щитку);

P110 - сопротивление цепи якоря;

P111 - индуктивность цепи якоря;

P112 - сопротивление цепи возбуждения;

Третью группу составляют:

P150 - граничный угол выпрямительного режима (преобразователь);

P151 - граничный угол инверторного режима (преобразователь);

P155 - коэффициент П - усиления тока якоря;

P156 - время регулирования регулятора тока якоря;

P225 - коэффициент П - усиления регулятора скорости;

P226 - время регулирования регулятора скорости;

P250 - граничный угол выпрямительного режима (возбудитель);

P251 - граничный угол инверторного режима (возбудитель);

P255 - коэффициент П - усиления регулятора тока возбуждения;

В преобразователе предусмотрен цикл автооптимизации, который может быть выбран ключевым параметром P051.

При P051=25 происходит настройка регулятора тока преобразователя и возбудителя. Следующие параметры устанавливаются автоматически: P110, P111, P112, P155, P156, P255, P256.

При P051=26 настраивается регулятор скорости. При его настройке автоматически устанавливаются параметры: P225 и P256.

Помимо перечисленных параметров существует группа параметров уставки для функций "Компенсация трения" и "Компенсация момента инерции". При P051=28 происходит компенсация моментов трения и инерции. Автоматически устанавливаются параметры: P520...530, P540.

Индикация рабочих состояний преобразователя осуществляется с помощью параметров индикации P001...P054.

Преобразователь имеет встроенные защиты и блокировки, такие, как:

- 1) защита от понижения напряжения;
- 2) защита от перенапряжения;
- 3) максимально-токовая защита;
- 4) защита по среднеквадратичному току;
- 5) защита от размыкания контуров регулирования САУ;
- 6) защита от превышения максимальной скорости двигателя.

Также в приводе имеются технологические защиты, воздействующие непосредственно на аварийное отключение преобразователя:

- 1) защита от слабины канатов;
- 2) переход за предел правого скипа;
- 3) переход за предел левого скипа.

В качестве датчика пути использован инкрементальный цифровой датчик типа BRZ, а так же механический путевого выключатель, отстроенный на конечные максимальные положения скипов.

### **2.8.3 Рекомендации по настройке и эксплуатации**

- 1) Трассы, ведущие от датчиков к электроприводу должны быть экранированные.
- 2) В контурах датчиков тока поля и якоря должны быть запаяны сопротивления, соответствующие нормированным значениям токов поля и якоря.

- 3) Основной прибор оснащён простой панелью управления. Дополнительно имеется возможность оснастить прибор выносной панелью управления. В этом случае простая панель показывает только рабочее состояние (P000) и не может использоваться для ввода.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Халбаев Алишер Муратбай угли

Школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов:	Стоимость материалов, технического оборудования, информационных и человеческих ресурсов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения	Отчисления во внебюджетные страховые фонды (30,7% от заработной платы)

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

• Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Определение конкурентоспособности проекта, анализ рынка продукта
• Определение сметы технического проекта	В процессе формирования сметы используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> <li>• материальные расходы;;</li> <li>• расходы на оплату труда;</li> <li>• отчисления на социальные нужды;</li> <li>• накладные расходы;</li> </ul>
• Оценка ресурсной эффективности продукции	Анализ конкурентных технических решений

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

График выполнения работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Халбаев Алишер Муратбай угли		



### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В основной части выпускной квалификационной работы был произведен расчет автоматизированного электропривода скипового подъема типа ДП74/34-6 SIMOREG 6RA24 фирмы Siemens

Целью данного раздела является расчет времени, затраченного по всем видам пуско-наладочных работ и определение полной стоимости установки. От качества проведения пуско-наладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования. А также является определение перспективности и успешности проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. Оценки коммерческого потенциала и перспективности проведение анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта.

#### **3.1 Организация и планирование пусконаладочных работ**

Структура ПНР:

- 4.1 Подготовительные работы – организаторская и инженерная подготовка работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовка парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

Подготовительные мероприятия включают в себя:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;

- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;
- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей настраиваемого объекта.

4.1 Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования-внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту, проверка и настройка отдельных элементов и функциональных групп, сборка испытательных схем, проверка параметров и снятие характеристик отдельных устройств, измерение сопротивления изоляции, проверка соединения обмоток, регулировку релейной аппаратуры.

Электротехнические ПНР должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия–изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования.

4.1 Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования - наладка электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладка оборудования в холостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4.1 Комплексное опробование - обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах

электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

5. Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации - результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Протоколы ПНР и испытания составляются в одном экземпляре, в протокол вносятся схемы, которые были изменены в процессе работы.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому бригада наладчиков комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

### **3.2 Состав бригады для проведения ПНР**

Состав бригады, сформирован, из штатных работников производства.

Инженер-наладчик – 1 человек

Электромонтёр – 2 человека

По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В, запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

### **3.3 Распределение объёма и времени выполнения ПНР**

Продолжительность работ определяется на основе нормативной базы вышеуказанного предприятия, при которой дается две оценки времени выполнения работ, исходя, из которых ожидаемое значение трудоемкости определяется по следующей формуле:[16]

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

$t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.

$t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы. (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы. (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Расчеты ожидаемой трудоемкости приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Продолжительность всех технических работ

№	Название работ	Трудоёмкость работ, дни			Исполнители
		$t_{min}$ Минимальное время	$t_{max}$ Максимальное время	Ожидаемое время	
1	1.Подготовительные работы	2	3	2,4	Инженер наладчик, электромонтер 1
2	2.Налад.работы до индивид. испыт. техн.обор	6	7	6,4	Инженер наладчик, электромонтер 2
3	3.Налад. работы в пер.индивид. испыт. техн.обор	5	6	5,4	Инженер наладчик, электромонтер 1
4	4.Комплексное опробование	3	4	3,4	Инженер наладчик, электромонтер1, электромонтер 2
5	5.Оформление документации	1	2	1	Инженер наладчик, электромонтер1, электромонтер 2

№ работ	Исполнители	Выполнение работ по дням																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	ИН ЭМ1	■	■	■																
		■	■	■																
2	ИН ЭМ2			■	■	■	■	■	■	■										
				■	■	■	■	■	■	■										
3	ИН ЭМ1									■	■	■	■	■	■	■				
										■	■	■	■	■	■	■				
4	ИН															■	■	■	■	■
	ЭМ1															■	■	■	■	■
	ЭМ2															■	■	■	■	■
5	ИН																		■	■
	ЭМ1																		■	■
	ЭМ2																		■	■

Рисунок 27 – график выполнение работ по дням  
ИН – инженер наладчик  
ЭМ1, ЭМ2 – электромонтер 1, электромонтер 2

Из графика следует, что на выполнение пуско-наладочных работ потребовалось 18,6 рабочих дней. В данном проекте все работы вводятся последовательно, так как одна работа не может быть выполнена параллельно другой.

### 3.4 Расчет полных затрат на оборудование и производство

#### работ

Расчет полных затрат производится по следующей формуле:

$$K = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + C_{\text{об}} + \text{н.р.}$$

$K$  – единовременные затраты на выполнение работ;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата производителей работ;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата;

$Z_{\text{внеб}}$  – отчислений во внебюджетные фонды;

$C_{\text{об}}$  – затраты на оборудование;

н.р. – накладные расходы.

#### 3.4.1 Расчет заработной платы

В настоящую статью включается основная заработная плата работников выполняемых ПНР. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов на предприятии.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{пол}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (15% от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}$$

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ;

$Z_{\text{дн}}$  –среднедневная заработная плата работника.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{O \cdot \text{р.к.}}{D_{\text{р}}}$$

О – оклад;

$Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

р. к – районный коэффициент (р.к.=1,25);

$D_p$  – рабочие дни.[16]

Оклады работников представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Оклады работников

Исполнители	Численность, чел.	Оклад, тыс.руб
Инженер наладчик	1	27 руб.
электромонтёр	2	20 руб.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы ( $k_{\text{доп}}$  12%);

Все расчеты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Расчет полной заработной платы на проведение ПНР

Исполнители	Оклад, тыс. руб.	Количество отработанных дней	Дневная заработная плата, тыс. руб.	Основная заработная плата, тыс. руб.	Дополнительная заработная плата, тыс. руб.	Полная заработная плата, тыс. руб.
ИН	27	18.6	1.53	28.5	3.5	32.0
ЭМ1	20	12.2	1.14	13.9	1.7	15.6
ЭМ2	20	10.8	1.14	12.3	1.5	13.8
Итого				54.7	6.7	61.4

### 3.4.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 30,2\% \cdot 61,4 = 18,54 \text{ тыс.руб.}$$

$k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равен 30,2%.

### 3.4.3 Затраты на закупку оборудования

В таблице 7 приведены затраты на закупку электрооборудования.

Цены всех комплектующих представлены на 1 апреля 2015. [12]

Таблица 7 - Затраты на закупку электрооборудования

№ п/п	Наименование комплектующих	Ед. измере ния	Кол-во	Цена, тыс.руб.	Сумма, тыс.руб.
1	Цифровой электропривод SIMOREG К серии 6RA24	шт.	1	146.9	146.9
2	Реверсивный вентильный преобразователь SIMOREG-K-6RA2491-4DV62-0	шт.	1	19.0	19.0
3	Трансформатор скипового подъемника ТСЗП-630/10УЗ	шт.	1	49.2	49.2
4	Трехфазный токоограничивающий реактор РТСТ-660-0,034 УЗ	шт.	1	1.6	1.6
5	Сглаживающий дросель ФРОС – 1000/0,5УЗ	шт.	1	2.5	2.5
6	Шкаф распределительный ШР11-73514-54УЗ	шт.	1	25.7	25.7
7	Монтажный кабель (3х120мм <sup>2</sup> )	м.	20	1.5	30.0
Итого					275.0

Полная стоимость электрооборудований рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{общ}} = \Sigma C_{\text{обр}} \cdot k_{\text{тр}} = 275 \cdot 1.1 = 333 \text{ тыс.руб.}$$

$\Sigma C_{\text{обр}}$  – общая стоимость электрооборудований и комплектующих;

$k_{\text{тр}}$  – коэффициент транспортных расходов 1.1;

Итого полная стоимость электрооборудования и комплектующих составляет 333 тыс. рублей.



### 3.4.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{нр}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{нр}} = 54.7 \cdot 90\% = 49.23 \text{ тыс. руб.},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы равен 90%.

Итого накладные расходы составляют 49,23 тыс. руб.

### 3.4.5 Общая стоимость затрат на проведение ПНР

Все затраты на проведение ПНР сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Затраты на проведение ПНР

Наименование статей затрат	Сумма, тыс.руб.	Удельный вес, %
Полная заработная плата	61.4	13,3
Отчисления во внебюджетные фонды	18.54	4,0
Затраты на закупку электрооборудования	333.0	72,0
Накладные расходы	49.2	10,7
Итого:	462.14	100,0

Полная стоимость установки составила 462 тыс. руб., из них 333 тыс. руб. (72%) составляет стоимость оборудования, полная заработная плата составила около 61,4 тыс. руб. (13,3%), остальную сумму составили отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы, а именно 67,6 тыс. руб. (14,7%).

### 3.4.6 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования. Целесообразнее проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 9. Для этого мы привели для сравнения три вида комплекта оборудования: Б<sub>ф</sub> – выбранный нами комплект оборудования на основе цифрового электропривода SIMOREG 6RA24 фирмы Siemens, Б<sub>к1</sub> –

комплект оборудования Харьковского электромашиностроительного завода на основе генератора-двигатель типа КП4-4 по 190 кВт и Б<sub>к2</sub> – комплект оборудования Харьковского электромашиностроительного завода на основе оборудования генератора ПБК-6, 500 кВт, с приводным синхронным двигателем 700 кВА.

Таблица 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
2. Удобный в эксплуатации соответствует требованиям потребителей)	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
3. Помехоустойчивый	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
4. Энергосберегающий	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
5. Надежный	0,09	5	5	5	0,3	0,3	0,3
6. Уровень шума	0,06	3	2	2	0,18	0,12	0,12
7. Безопасный	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
10. Простота эксплуатации	0,09	5	5	5	0,3	0,3	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
11.Конкурентоспособность продукта	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
12. Уровень проникновения на рынок	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
13. Цена	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
14. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
15. Послепродажное обслуживание	0,04	4	4	2	0,16	0,16	0,08
Итого	1	65	63	58	4,15	3,89	3,56

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:[16]

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл i-го показателя

При сравнении конкурентных технических решений приведенных в таблице 9, можно сделать вывод что Б<sub>ф</sub> является более надежный и безопасный в эксплуатации, а самое главное более всех способствует к росту производительности.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Халбаев Алишер Муратбай угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02. Электротехника и Электроэнергетика

### Тема ВКР: Электропривод скипового подъемника

#### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Прибор: Электропривод скипового подъемника. Методика: модернизация Рабочая зона: цех общей сборки для слесарно-сборочных, сварочных и газорезочных работ. Область применения: промышленные объекты.</i>
--	--

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-- ГОСТ 12.0.003-2015 - СП 52.13330.2016 - ГОСТ 21889-76 - ГОСТ Р 55710-2013 - СанПиН 2.2.4.548-96 - ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ - ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ - ГОСТ 12.1.005-88 - ГОСТ 12.1.009-76
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Вредными факторами являются:</i> 1. Отклонение показателей микроклимата в помещении 2. Превышение уровней шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны (в дневное время суток)  <i>Опасными факторами являются:</i> 1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	— Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу(отходы);.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: - пожар; - взрыв. Типичная ЧС: пожар.

#### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Халбаев Алишер Муратбай угли		

## **4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды во время технологического процесса общей сборки электропривода.

Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование, инструменты и приспособления: верстак, нагреватель SKF TИH100m, кран-балка Q-3 т.с, пневмопресс МХ-145, шпильковерт, молоток 7805-0103 ГОСТ 2310-77. Технологический процесс сборки включает в себя следующие виды работ: работу с механизированным ручным инструментом, продувку деталей, работу с транспортными приспособлениями.

### **4,1 Профессиональная социальная безопасность. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

К эксплуатации и обслуживанию электропривода скипового подъемника допускаются лица старше 18 лет, имеющие необходимую теоретическую и практическую подготовку, прошедшие медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья, а также прошедшие вводный и первичный на рабочем месте инструктажи по охране труда, изучившие техническую документацию, инструкцию по эксплуатации

применяемого оборудования, прошедшие обучение безопасным методам работы, стажировку на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда.

Согласно ст. 212 ТК РФ работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов.
- принятие мер по предотвращению аварийных ситуаций, сохранению жизни и здоровья работников при возникновении таких ситуаций, в том числе по оказанию пострадавшим первой помощи;
- санитарно-бытовое обслуживание и медицинское обеспечение работников в соответствии с требованиями охраны труда, а также доставку работников, заболевших на рабочем месте, в медицинскую организацию в случае необходимости оказания им неотложной медицинской помощи;

Согласно ст. 214 ТК РФ работник обязан:

- соблюдать требования охраны труда;
- правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда.

#### **4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочего управляющего электроприводом скипового подъемника при эксплуатации оборудования необходимо обеспечить безопасным рабочим местом в соответствии с ГОСТ 21889-76 [2]:

Поверхность сиденья может быть плоской, имеющей наклон  $0-5^{\circ}$ , или профилированной. Профилировка поверхности сиденья создается двумя углами наклона поверхности сиденья - передним, равным  $4-5^{\circ}$ , и задним, равным  $10-15^{\circ}$ , вершины которых расположены на линии, удаленной от заднего края поверхности сиденья на его глубины, если ее величина не превышает 450 мм, и на 150 мм в остальных случаях.

В случае если высота сиденья и подставка для ног нерегулируемые, то высоту рабочей поверхности устанавливают по номограмме для работающего ростом 1800 мм. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего.

Таким образом полученные результаты можно считать подходящими для проведения работ на рабочем месте оператором с целью эксплуатации электропривода скипового подъемника.

#### **4.2. Производственная безопасность**

В этом разделе рассматривается влияние вредных и опасных факторов, возникающих при эксплуатации электропривода скипового подъемника.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [3] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы 10.

Таблица 10 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов- ление	Эксплуат -ация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [4]  ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности.» [5]
2. Превышение уровня шума		+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны (в дневное время суток)	+	+	+	
4. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [6]  ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [7]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [8]



## **4.2. Анализ вредных факторов**

### **4.2.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны (в дневное время суток)**

Производственное рациональное освещение территории предприятия, производственных помещений и рабочих мест имеет весьма важное гигиеническое значение. Оно обеспечивает труд, делает движение рабочего уравновешенными, снижает опасность травматизма. Недостаточная или неправильная освещенность территории, дорог, установок, лестниц может привести к падению рабочих и к несчастным случаям.

Недостаточное освещение рабочей зоны тоже является вредным производственным фактором, характеризуется такими показателями, как световой поток, освещенность, яркость, сила света. Вредно тем, что при недостаточном искусственном и дневном освещении есть вероятность испортить, а то и потерять зрение.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96 основные требования, предъявляемые к производственному освещению, это соответствие освещенности характеру зрительной работы (т.е. соответствующее увеличение освещенности рабочих поверхностей), достаточно равномерное распределение яркости (для того, чтобы глазам не приходилось переадаптироваться), отсутствие резких теней на рабочей поверхности (уменьшает утомление зрения), отсутствие блескости (слепящего действия света), постоянство освещенности во времени, обеспечение электро, взрыво и пожаробезопасности. Эти требования могут быть соблюдены при правильном выборе типа и системы производственного освещения, которые подразделяются на: естественное (дневной свет), искусственное (электрические источники), смешанное (естественное дополняет искусственное, что является наиболее экономичным и разумным), общее (вся территория; равномерно), комбинированное (локально,

обособленные рабочие поверхности), аварийное (при недопущении перерывов в работе), эвакуационное (в местах эвакуации и повышенного травматизма).

Выбор источника света зависит от освещаемого предмета или территории. Различают два вида источников света: тепловое (лампы накаливания и галогенные лампы накаливания) и люминесцентное (длинные трубчатые газоразрядные лампы).

В соответствии с СНиП 23-05-95 пункт 7.8 естественное и искусственное освещение рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк при лампах накаливания. Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 500 лк при разрядных лампах и более 150 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

#### **4.2.2 Повышенный уровень шума**

Шум относится к вредным факторам производства, как и звук, возникает при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности [6]. Шумом являются различные звуки, мешающие нормальной деятельности человека и вызывающие неприятные ощущения. Звук представляет собой колебательное движение упругой среды, воспринимаемое человеческим органом слуха. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха; [6]

Объективно действия шума проявляются в виде повышения кровяного давления, учащенного пульса и дыхания, снижения остроты слуха, ослабления внимания, некоторые нарушения координации движения, снижения

работоспособности. Субъективно действия шума могут выражаться в виде головной боли, головокружения, бессонницы, общей слабости. Комплекс изменения, возникающих в организме под влиянием шума, в последнее время рассматривается медиками как “шумовая болезнь”.[6]

Уровень звука, излучаемый электроприводом скипового подъемника в окружающую среду на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА в соответствии с СанПин 2.2.4.3359 - 16 пункт 3.2.2[9].

Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно. Пиковый уровень звука С не должен превышать 137 дБС. в соответствии с СанПин 2.2.4.3359 - 16 пункт 3.2.5. [8].

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (пункт 6.3. таблица 2) предельно допустимые уровни звукового давления представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

№ пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда).

#### **4.2.3 Отклонение показателей микроклимата**

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [9].

Таким образом, определяющими факторами при определении микроклимата производственного помещения являются:

- температура;
- влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Микроклимат производственных помещений, в основном, влияет на тепловое состояние организма человека и его теплообмен с окружающей средой

При высокой температуре практически все тепло, которое выделяется, отдается в окружающую среду испарением пота. Если микроклимат характеризуется не только высокой температурой, но и значительной влажностью воздуха, то пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожи.

Недостаточная влажность приводит к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыханию и эрозии, загрязнению болезнетворными микробами. Вода и соли, выделяемые из организма потом, должны замещаться,

поскольку их потеря приводит к сгущиванию крови и нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы.

Повышение скорости движения воздуха способствует усилению процесса теплоотдачи конвекцией и испарением пота. Длительное влияние высокой температуры в сочетании со значительной влажностью может привести к накоплению тепла в организме и к гипертермии состоянию, при котором температура тела повышается до 38...40 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). Эксплуатация электропривода скипового подъемника относится Пб по СанПиН 2.2.4.548–96. [4] пункт 5.3 и 6.3. В таблице 12 представлены оптимальные и допустимые нормы микроклимата.

Таблица 12 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Па (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	Пб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
Теплый	Па (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	Пб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

#### 4.2.4 Анализ опасных факторов

Возможность получения травм вследствие:

##### А) Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации шнекового питателя является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, приводов, барабанов; расштыбовка барабанов шнекового питателя при его работе; ремонт и смазка шнекового питателя во время его работы; включение шнекового питателя без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (проход под шнековым питателем во время его работы, эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе на шнековом питателе допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления питателем и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Б) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Источником возникновения фактора может выступать:

- При утечке тока на корпус оборудования;
- При неверных действиях персонала при обслуживании электроустановок.

Опасность поражения человека электрическим током оценивается величиной тока  $I$  (А), проходящего через его тело, или напряжением прикосновения  $U$  (В). Это означает, что опасность поражения током зависит от

схемы включения человека в цепь, напряжения сети, режима нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, емкости линии и т. д.

На организм человека электрический ток может оказывать термическое, биологическое и электролитическое воздействие.

Электрический ток подразделяется на постоянный и переменный. Токи промышленной частоты имеют частоту 50 Гц.

По напряжению электрический ток подразделяется на низковольтный и высоковольтный. Высоковольтным считается напряжение свыше 1000 В.

Критические значения тока. Существуют критические значения сетевого переменного тока, воздействующего на организм.

- 0,6-1,5 мА - ток начала ощущения (в точках прикосновения);

- 10-20 мА - порог неотпускающего тока, т.е. тока, вызывающего судорожное сокращение мышц, человек в этом случае не может сам освободиться от действия тока, например, разжать пальцы;

- 100 мА - ток фибрилляции сердца, т.е. явления беспорядочного сокращения волокон сердечной мышцы, вызывающего остановку сердца.

При токе 5 А и более происходит асфиксия - удушье, вызванное рефлекторным спазмом голосовой щели.

Виды электрических сетей. Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) разрешается эксплуатировать два вида трехфазных электрических сетей :

- а) трехпроводные с изолированной нейтралью;

- б) четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью.

Трехпроводные сети с заземленной нейтралью и четырехпроводные с изолированной запрещены, как не обеспечивающие безопасности в аварийных режимах.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам показаны в таблице 12 по ГОСТ12.1.038-82\*[11], табл.2

Таблица 12 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело человека при нормальном режиме электроустановки.

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока $t$ , с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	$U$ , В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	$I$ , мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям предусмотрена изоляция токоведущих частей, а также изоляция рабочего места.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетокведущим частям, которые могут



оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции предусмотрено применение в комплексе защитного заземления, зануления и защитного отключения.

Для исключения воздействия электрического тока на организм человека применяются следующие мероприятия:

- использование устройств защитного отключения при утечке тока на корпус оборудования;
- соблюдения правил по охране труда при эксплуатации электроустановок;
- обучение персонала методам электробезопасности и оказания первой помощи при поражении человека электрическим током;
- соблюдение требований правил устройства электроустановок;
- применение средств визуализации, вывешивание запрещающих и предупреждающих плакатов.

### **4.3 Экологическая безопасность**

Важными направлениями охраны окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

Утилизация люминесцентных ламп (ртутных ламп) и ртутьсодержащих приборов, так как ртуть, содержащаяся в люминесцентных лампах, при их бое является потенциальным источником загрязнения различных помещений. Ртуть относится к веществам первого класса опасности и применительно к

здоровью (патологии) человека обладает широким спектром клинических проявления токсического действия. Накопление и хранение таких отходов на территории предприятий допускается временно до отправки на утилизацию в установленном порядке.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

В качестве дополнительных средств защиты от **вредного воздействия выбросов промышленных предприятий** применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установленная санитарная защита вокруг промышленных предприятий.

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При работе с электроприводом возможно возникновение пожара в связи с возникающим коротким замыканием.

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью

исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [10].

Участок общей сборки привода согласно НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [12] относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Пожары наносят громадный материальный ущерб и в ряде случаев сопровождается гибелью людей. Поэтому защита от пожаров является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе.

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров и в их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил технических средств тушения.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на предприятии независимо, от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, которые могут привести к возникновению пожара или возгоранию.

Причины пожара:

- 1) Нарушение технологического режима;
- 2) Неисправность электрооборудования;

3) Плохая подготовка к ремонту оборудования;

4) Самовозгорание промасленной ветоши и других материалов.

Источниками воспламенения могут быть открытый огонь технологических установок, раскаленные или нагретые стенки аппаратов и оборудования, искры электрооборудования, статическое электричество, искры удара и терния деталей машин и оборудования и др.

Производственные, административные, вспомогательные и складские здания, сооружения и помещения, а также открытые производственные площадки или участки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами, устанавливаемыми отраслевыми правилами пожарной безопасности.

К первичным средствам пожаротушения относятся все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, ящики с порошковыми составами (песок, перлит и т.п.), а также огнестойкие ткани (асбестовое полотно, кошма, войлок и т.п.).

Первичные средства пожаротушения должны размещаться в легкодоступных местах и не должны быть помехой и препятствием при эвакуации персонала из помещений.

На производстве применяются углекислотные огнетушители предназначенные, для тушения загорания различных веществ и материалов, а также электроустановок, кабелей, проводов, находящихся под напряжением до 1кВ (1000В).

Допускается установка огнетушителей в тумбах или шкафах, конструкция которых должна позволять визуально определить тип огнетушителя и осуществлять быстрый доступ к нему для использования при пожаре.

### **Выводы по разделу**

В данном разделе был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе сборки электропривода скипового подъемника. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения пожара.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ВКР был разработан и спроектирован электропривод главного скипового подъёмника доменной печи на основе устройства преобразования тока SIMOREG- К.

В ходе проектирования были рассчитаны параметры силовой цепи привода, произведён расчёт регулировочных характеристик преобразователя, параметров оптимальной настройки и логарифмических амплитудно- частотных и фазочастотных характеристик электропривода. Также был произведён расчёт переходных характеристик САУ РЭП методом математического моделирования и определены показатели качества, которые полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение »были рассмотрены мероприятия (пуско-наладочные работы), необходимые для введения в эксплуатацию электропривода главного скипового подъёмника доменной печи и рассчитаны затраты на проведение этих работ.

В разделе "Социальная ответственность" проекта были оценены опасные и вредные факторы, действующие в доменном цехе, рассмотрены вопросы охраны труда, окружающей среды и произведён расчёт искусственного освещения в помещении оператора

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И.Круповича, Ю.Г.Барыбина, М.Л.Самовера. — 3-е изд., перераб. и доп. - М.:Энергоиздат, 1982. - 416 с.
2. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / Под ред. М.Г.Зименкова, Г.В.Розенберга, Е.М.Феськова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 480с.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Учебное пособие. -Томск: Изд. ТПУ, 1999. -144с.
4. Б.А.Левитанский, Электрооборудование предприятий чёрной металлургии. Металлургиздат, 1955г.
5. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. канд. техн. Наук В.М. Перельмутера. - М.; Энергоатомиздат, 1988. 319с.
6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 21889-76. Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования
8. ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы»;
9. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
10. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
11. ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности.
12. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
13. ГОСТ 12.1.009-76. Электробезопасность. Термины и определения.
14. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к

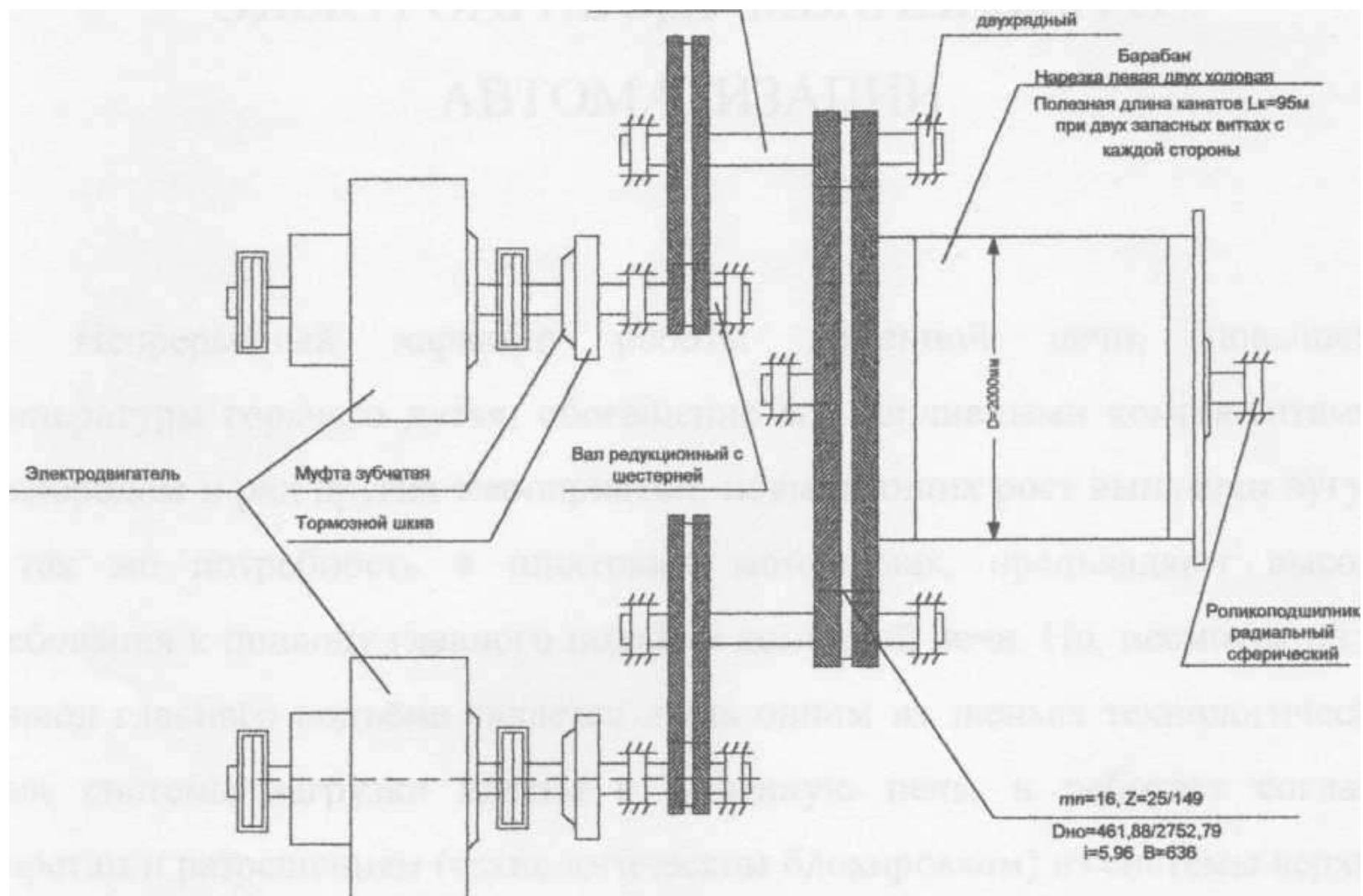
воздуху рабочей зоны.

15. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
16. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»
17. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
18. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго СССР — М.: Энергоатомиздат, 1985-640с.
19. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
20. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
- 21.
22. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
23. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

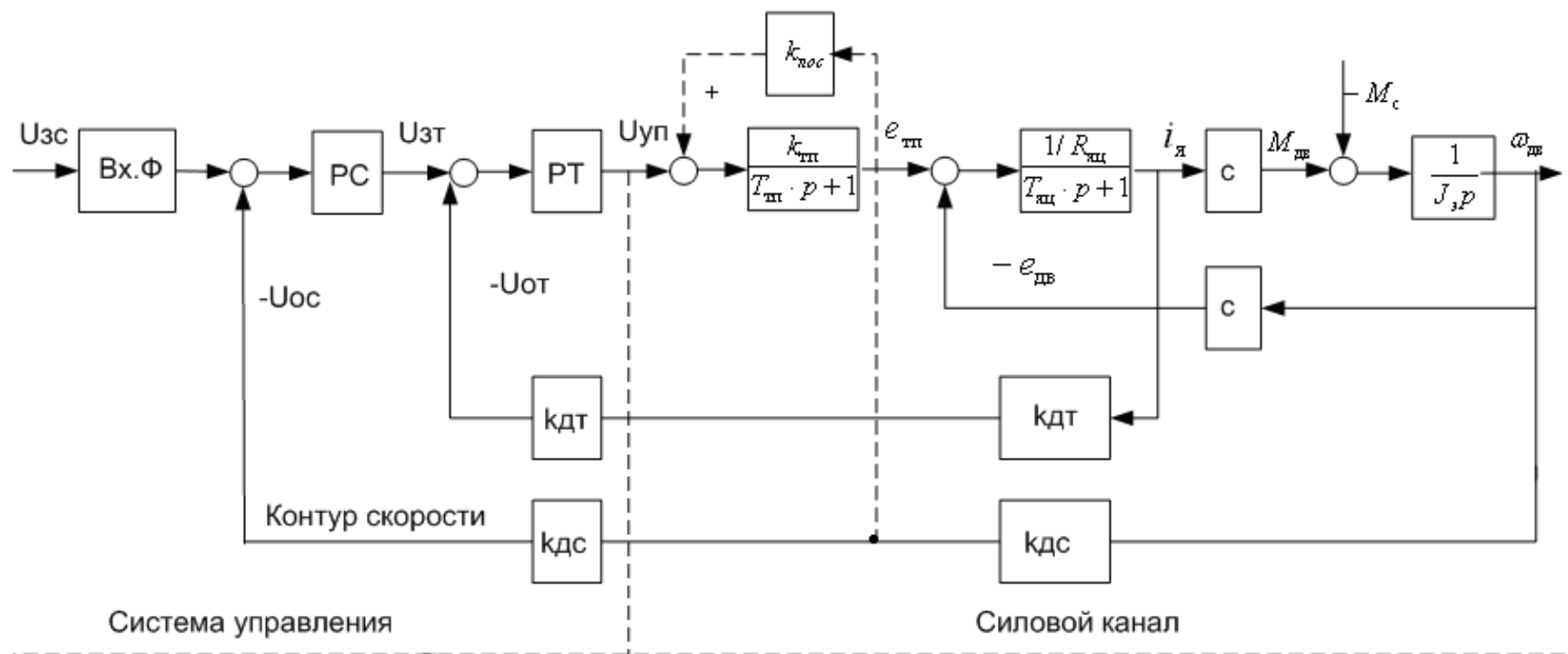


## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Перечень графического материала.



Кинематическая схема механизма лебёдки скипов типа ЛС 1-22,5- 210



Структурная схема линейризованной САУ РЭП

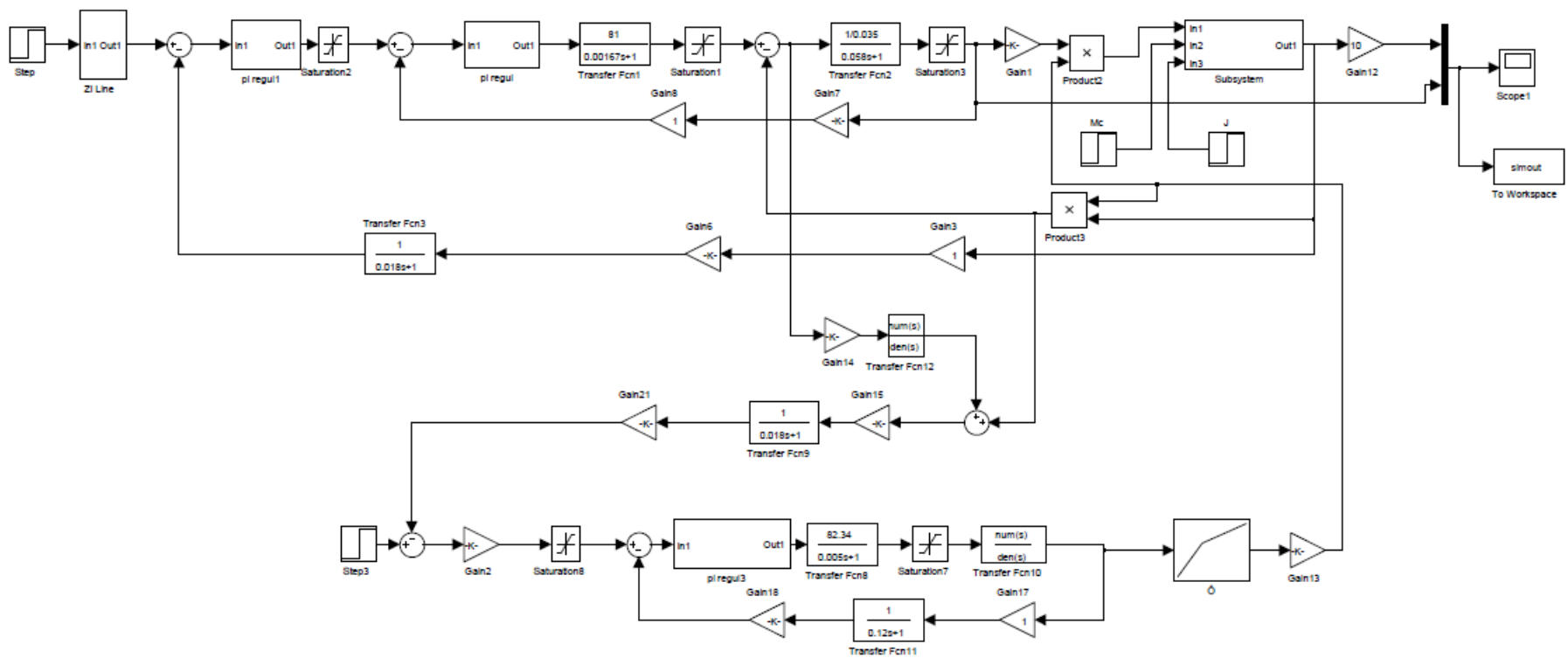
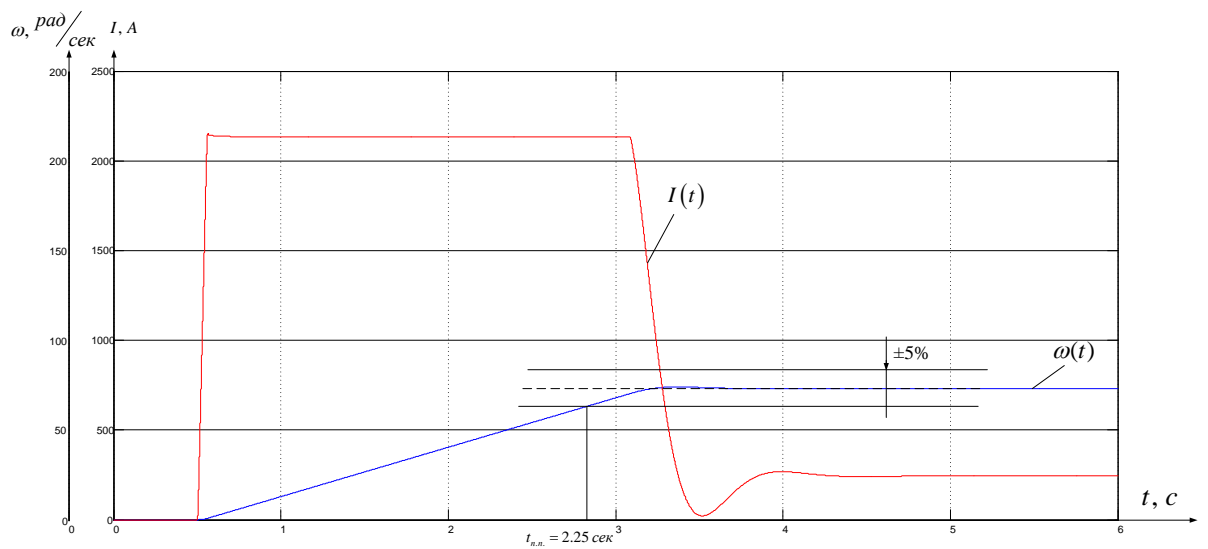
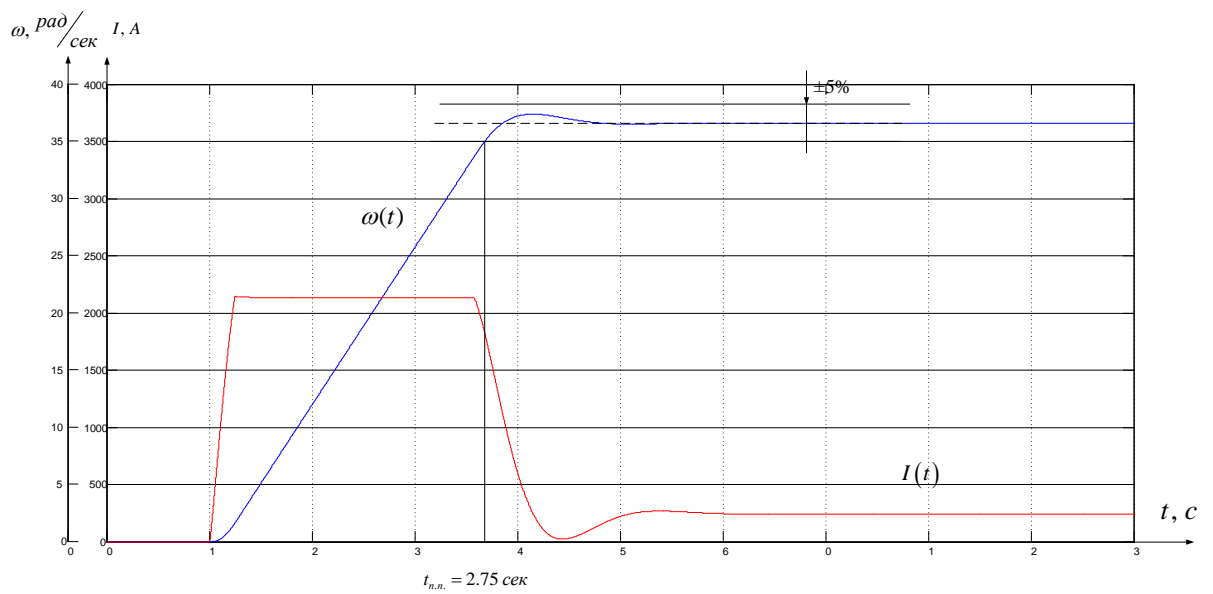


Схема набора модели в программе Matlab.



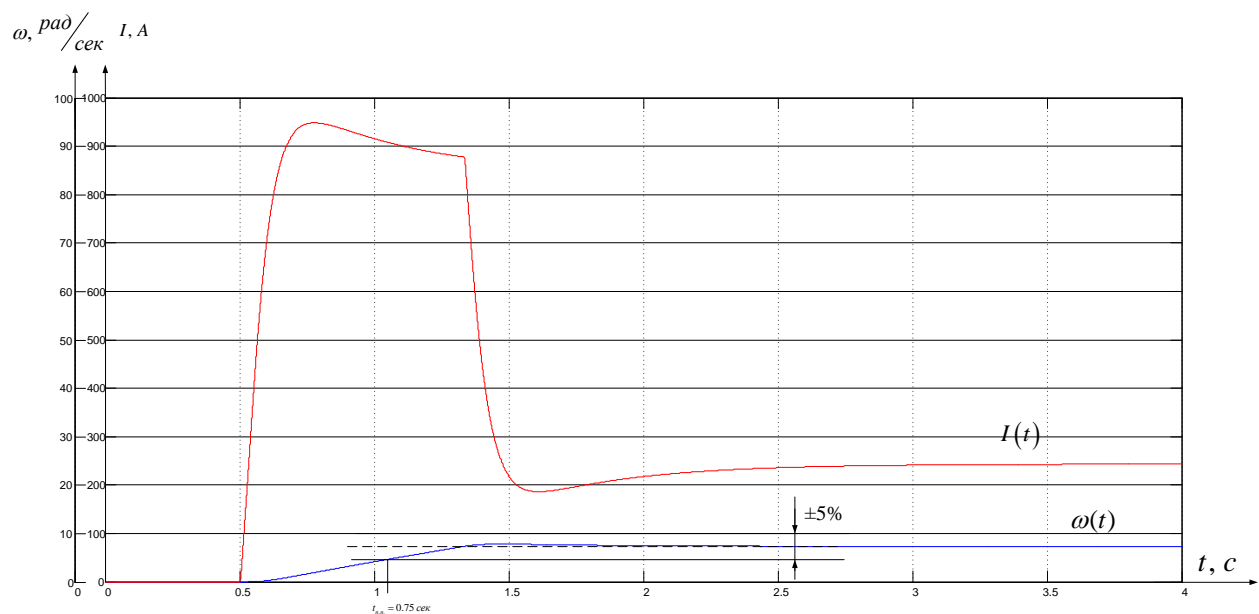
Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 10В.

$M_c = 1453 \text{ Н*м}$ ,  $I_{\text{баз}} = 2150 \text{ А}$ ,  $\omega_{\text{баз}} = 73,2 \text{ рад/с}$ .



Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 5В.

$M_c = 1453 \text{ Н*м}$ ,  $I_{\text{баз}} = 2150 \text{ А}$ ,  $\omega_{\text{баз}} = 36,6 \text{ рад/с}$ .



Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 1В.

$M_c = 1453 \text{ Н*м}$ ,  $I_{\text{баз}} = 750 \text{ А}$ ,  $\omega_{\text{баз}} = 7.32 \text{ рад/с}$ .